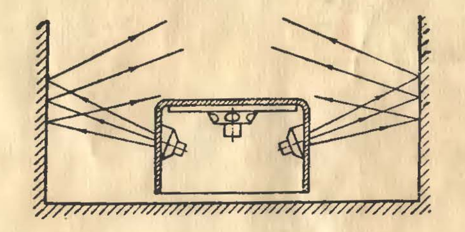
МАССОВАЯ РАДИО БИБЛИОТЕКА

М. Д. ГАНЗБУРГ

УЛУЧШЕНИЕ ЗВУЧАНИЯ ПРИЕМНИКА



ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

Выпуск 299

М. Д. ГАНЗБУРГ

УЛУЧШЕНИЕ ЗВУЧАНИЯ ПРИЕМНИКА



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКВА 1958 ЛЕНИНГРАД

В книге рассказывается о новинках в зарубежных радиовещательных приемниках, направленных на улучшение качества их звучания. Особое внимание уделено акустическим системам объемного звучания и усилителям низкой частоты для этих систем. Книга предназначена для радиолюбителей-конструкторов.

Ганзбург Марк Давыдович

УЛУЧШЕНИЕ ЗВУЧАНИЯ ПРИЕМНИКА

Редактор *К. А. Шульгин* Технич. редактор *Н. И. Боруков*

Сдано в набор 15/III 1958 г. Подписано к печати 8/V 1958 г.
Т-04586. Бумага 84 × 108[1]/32. 4,92 печ. л. Уч.-изд. л. 5,5
Тираж 75 000 экз. Цена 2 р. 20 к. Заказ 1128.

Типография Госэнергоиздата. Москва, Шлюзовая наб., 10.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Когда говорят, что радиоприемник хорошо работает, то под этим подразумевают не только его чувствительность и избирательность, но и качество звучания.

Появление новых широкополосных источников звука, таких, как долгоиграющие граммофонные пластинки и радиовещание с частотной модуляцией на УКВ диапазоне, показало, что применявшиеся до последнего времени в приемниках громкоговорители и акустические системы не способны обеспечить высококачественное воспроизведение разнообразных программ. Поэтому при разработке современных радиовещательных приемников конструкторам приходится обращать особое внимание на создание новых громкоговорителей и акустических систем, способных реализовать появившиеся возможности и отвечающих требованиям сегодняшнего дня.

В результате многочисленных экспериментов были созданы как новые широкополосные громкоговорители и акустические агрегаты, так и принципиально новые акустические системы, позволяющие расширить не только диапазон воспроизводимых частот, но и характеристику направленности излучения. Последнее обстоятельство имеет решающее значение, так как приближает звучание приемника при прослушивании музыкальных передач к естественному звучанию инструментов. Акустические системы с малой направленностью излучения получили название систем «объемного звучания».

Создание подобных акустических систем повлекло за собой и разработку новых схем тракта усиления низкой частоты, обеспечивающих совместно с акустической системой действительно высококачественное звучание приемников. В результате появились схемы двухканальных усилителей низкой частоты, оконечного каскада без выходного трансформатора, низкочастотного тракта для псевдостереофонического звучания и другие новинки, не только повышающие

качество звучания, но и создающие удобства в обращении с приемником.

Наибольших успехов в области улучшения качества звучания приемников достигли за последние годы западногерманские фирмы, разработавшие как новые типы громкоговорителей и акустических систем объемного звучания, так и схемы усилителей низкой частоты, позволяющих воспроизводить широкий спектр частот при малых искажениях. Этим нововведениям и посвящена в основном данная книга.

Чтобы облегчить читателю применение на практике полученных из книги сведений, в конце ее приводятся практические советы по выбору и установке громкоговорителей для акустических систем объемного звучания, расширению полосы воспроизводимых ими звуковых частот и построению схем усилителей низкой частоты с широкой полосой пропускания.

М. ГАНЗБУРГ

ГЛАВА ПЕРВАЯ

ГРОМКОГОВОРИТЕЛИ

Качество воспроизведения приемника определяется как параметрами его акустической системы и электрического тракта, так и полосой частот, передаваемой радиопередающим устройством. В УКВ диапазоне полоса частот практически не ограничивается. Это позволяет резко повысить качество звучания приемников с УКВ диапазоном путем расширения их частотной характеристики, особенно в области верхних звуковых частот. Но расширение диапазона воспроизводимых частот невозможно, если излучатель звука — громкоговоритель — имеет узкий частотный диапазон.

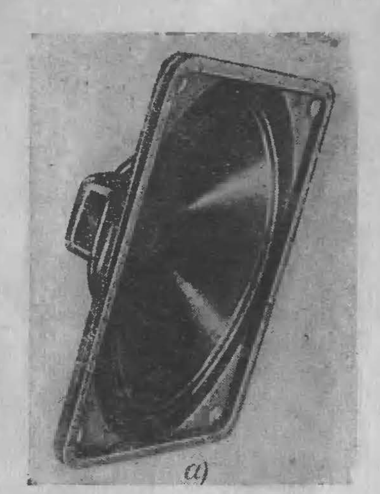
СОВРЕМЕННЫЕ ГРОМКОГОВОРИТЕЛИ

Одним из новых громкоговорителей, позволяющих улучшить качество приемника, является электродинамический громкоговоритель овальной формы (рис. 1,*а*). Основное его преимущество перед громкоговорителем с круглым диффузором состоит в воспроизведении более широкой полосы частот. Объясняется это тем, что вследствие изменяющегося радиуса кривизны диффузор овального громкоговорителя обладает повышенной жесткостью и хорошо излучает верхние звуковые частоты. Кроме того, благодаря большему углу раствора диффузора расширяется и диаграмма направленности излучения[1] громкоговорителя. На рис. 1,*б* приведены диаграммы направленности излучения в горизонтальной плоскости круглого электродинамического громкоговорителя диаметром 180 *мм* (кривая *1*) и овального громкоговорителя с размерами по осям 180 и 210 *мм* (кривая *2*), измеренные на частоте 10 000 *гц*.

Помимо указанных преимуществ, овальный громкоговоритель имеет и значительно меньшую неравномерность

[1] Объяснение акустических терминов приведено в приложении 4.

частотной характеристики. Из приведенной на рис. 1,*в* несколько идеализированной частотной характеристики громкоговорителя с осями 180×210 *мм*, снятой на акустическом экране, видно, что при неравномерности 15 *дб* овальный громкоговоритель воспроизводит полосу частот 40—15 000 *гц*. Правда, такой громкоговоритель, будучи установленным в футляре приемника, хорошо излучать столь низкие частоты звукового спектра не сможет, но воспроизведение их будет все же более эффективным, чем круглым громкоговорителем. Следует отметить еще и значительно



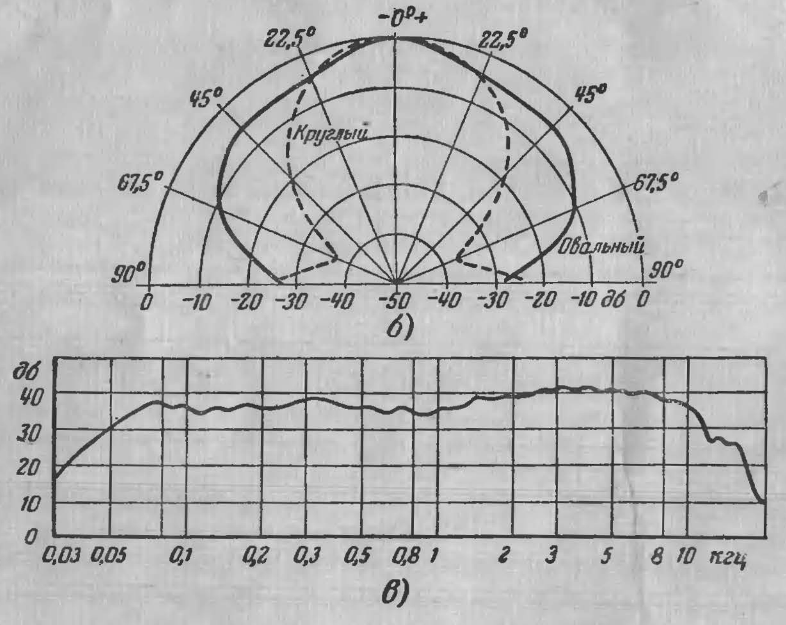


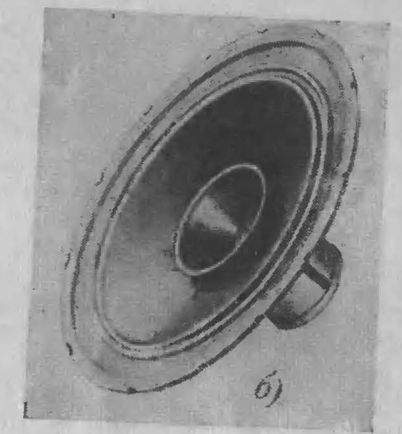
Рис. 1. Овальный электродинамический громкоговоритель и его характеристики.

а — внешний вид; *б* — диаграмма направленности излучения на частоте 10 000 *гц*; *в* — частотная характеристика.

меньшую склонность овального громкоговорителя к образованию комбинационных тонов при повышенной мощности, чем это имеет место у круглых громкоговорителей.

Овальные громкоговорители значительно сложнее круглых в производстве. Поэтому, несмотря на столь очевидные





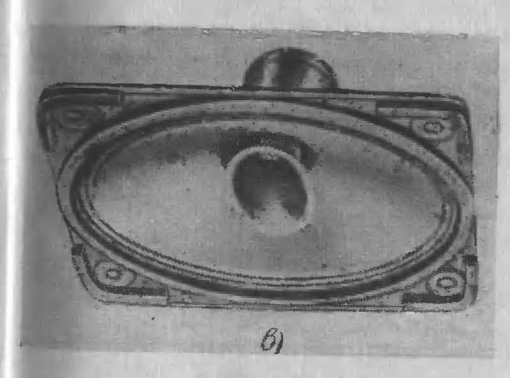


Рис. 2. Комбинированные электродинамические громкоговорители.

а — громкоговоритель с раструбом; *б* — двухдиффузорный громкоговоритель; *в* — овальный двухдиффузорный громкоговоритель с дополнительным диффузором овальной формы.

преимущества, не всегда оказывается экономически целесообразным применять их в приемниках.

Более простым способом расширения полосы воспроизводимых частот является добавление в громкоговорителе второго, небольшого диффузора. Радиолюбителям, вероятно, известны электродинамические громкоговорители с раструбом в центре, который неподвижно укреплен на керне магнитной системы. Такой громкоговоритель (рис. 2,*а*),

установленный в приемнике «Рига-10», позволил получить акустические параметры, удовлетворяющие нормам ГОСТ на радиоприемники первого класса. Однако в этом случае верхняя граница воспроизводимого диапазона ограничилась частотами порядка 6 500 *гц*. Чтобы еще больше расширить диапазон частот громкоговорителя, в него вводят дополнительный диффузор небольших размеров. Этот диффузор, прикрепленный к горловине основного диффузора, колеблется вместе с ним. Такой громкоговоритель (рис. 2,*б*) получил название двухдиффузорного.

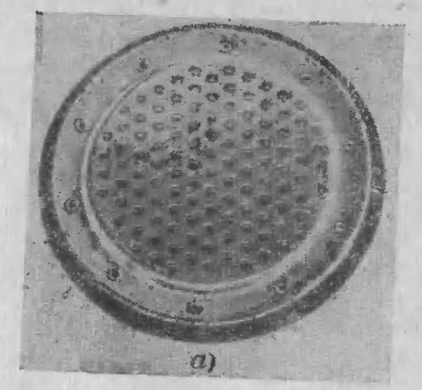
Наличие дополнительного диффузора увеличивает жесткость горловины подвижной системы, что приводит к улучшению воспроизведения верхних звуковых частот. Кроме того, дополнительный диффузор, имеющий меньшие, чем основной, размеры, также излучает преимущественно частоты верхней части звукового спектра. Одновременно расширяется и диаграмма направленности излучения на верхних частотах.

Форма и размеры дополнительного диффузора пока не поддаются расчету и определяются опытным путем в зависимости от требуемой частотной характеристики. Чаще всего ему придают примерно такой же вид, как и основному, и размещают на расстоянии 1—3 *мм* от последнего. В дальнейших моделях двухдиффузорных громкоговорителей дополнительный диффузор прикрепляют не к горловине основного, а к каркасу звуковой катушки, который в этом случае делают несколько большей высоты.

В настоящее время иностранные фирмы устанавливают дополнительный диффузор во многих громкоговорителях, в том числе и в овальных. Интересно отметить, что в овальных громкоговорителях иногда рекомендуют дополнительный диффузор делать также овальным и располагать его так, чтобы его большая ось была перпендикулярна большой оси основного диффузора (рис. 2,*в*). Утверждают, что применение такого расположения диффузоров расширяет диаграмму направленности на верхних частотах не только в горизонтальной плоскости, но и в вертикальной.

Для расширения верхней границы воспроизводимых приемником частот применяются также небольшие пьезоэлектрические, электростатические и электродинамические громкоговорители небольших размеров в комбинации с электродинамическим громкоговорителем бо́льших размеров, рассчитанным на воспроизведение нижних и средних частот.

Наиболее прост в изготовлении пьезоэлектрический громкоговоритель. Принцип его действия основан на свойстве пьезокристалла колебаться под воздействием переменного электрического поля. Пьезоэлектрические громкоговорители с кристаллом из сегнетовой соли выпускались раньше нашей промышленностью как абонентские для радиотрансляционной сети, но не нашли широкого распространения из-за механической непрочности кристалла и зависимости его характеристик от температурных условий. Иностранные фирмы изготовляют пьезоэлектрические громкоговорители с пьезокерамикой. Этим в значительной степени устраняются недостатки, присущие громкоговорителям с кристаллами из сегнетовой соли.



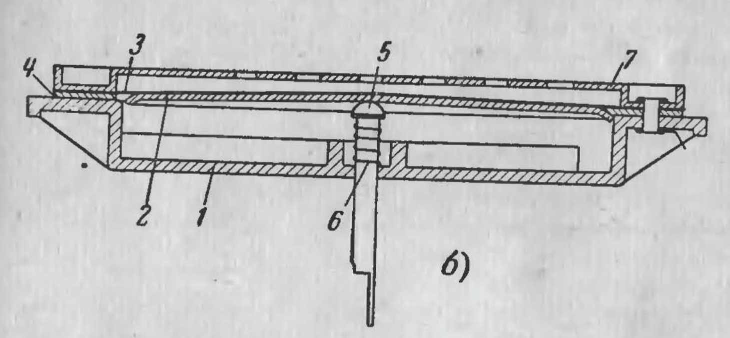


Рис. 3. Электростатический громкоговоритель.

а — внешний вид; *б* — схема устройства (*1* — корпус; *2* — электрод; *3* — мембрана; *4* — резиновое кольцо; *5* — болт; *6* — пружина; *7* — перфорированная крышка).

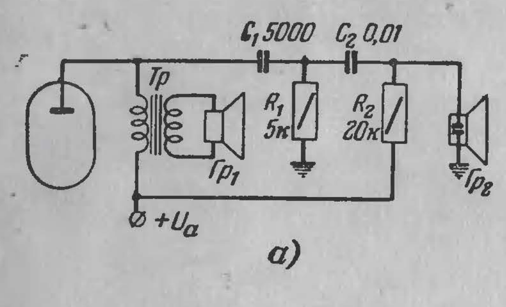
Электростатический громкоговоритель хотя и не намного сложнее по конструкции пьезоэлектрического, но более труден в изготовлении. На рис. 3 показаны устройство и внешний вид электростатического громкоговорителя типа SKL-100. Основная его часть — мембрана — изготовляется из стирофлекса и имеет сложную геометрическую форму; толщина ее составляет 20 *мк*. С внешней стороны мембрана покрыта слоем золотой фольги толщиной 0,1 *мк*,

которая служит одним из электродов громкоговорителя. В качестве другого электрода используется очень мелкая металлическая сетка, имеющая отверстия диаметром 0,6 *мм* и почти такую же форму, как и мембрана. При помощи штифта и пружины сетка все время плотно прижата к мембране. В результате образуется конденсатор, в котором обкладками служат золотая фольга и металлическая сетка, а диэлектриком — стирофлексовая мембрана. Перфорированная стальная крышка и пластмассовый корпус объединяют все части громкоговорителя в одно целое.

Для нормальной работы электростатического громкоговорителя к его зажимам нужно подвести постоянное (250—300 *в*) и переменное напряжения. Эти напряжения прикладываются между золотой фольгой и металлической сеткой. Постоянное напряжение служит для создания между ними электростатического поля. Под действием переменного напряжения напряженность этого поля изменяется в такт со звуковой частотой. Вследствие этого изменяются электростатические силы, действующие между золотой фольгой и металлической сеткой, и мембрана колеблется, излучая звук.

Схема включения электростатического громкоговорителя приведена на рис. 4. Постоянное напряжение на него подается с последнего электролитического конденсатора фильтра выпрямителя через сопротивление R_2. Напряжение звуковой частоты снимается с анода оконечной лампы и подводится к громкоговорителю через фильтр $C_1R_1C_2$. Этот фильтр нужен для того, чтобы не пропустить к электростатическому громкоговорителю нижние звуковые частоты (ниже определенной для каждого отдельного типа громкоговорителя граничной частоты) и этим резко снизить коэффициент нелинейных искажений.

Акустическая мощность (звуковое давление) электростатического громкоговорителя зависит как от постоянного и переменного потенциалов на его электродах, так и от емкости подвижной системы. При большой емкости подвижной системы, имеющей место в случае гладкой мембраны, в частотной характеристике громкоговорителя образуются резко выраженные пики и провалы, т. е. она становится очень неравномерной. В то же время неровности и незначительные выпуклости на поверхности мембраны облегчают ее колебания, снижают собственную емкость подвижной системы и выравнивают частотную характеристику громкоговорителя. Поэтому мембране придают сложную геометрическую фор-



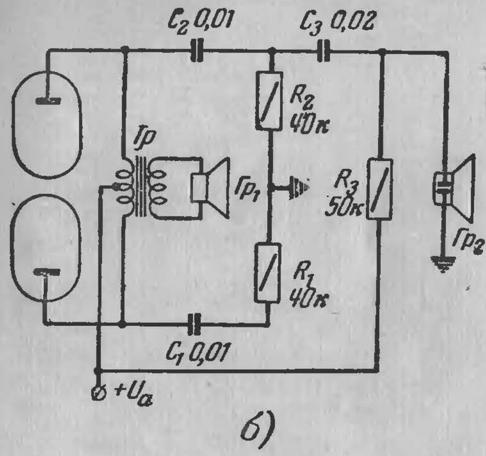


Рис. 4. Схемы включения электростатических громкоговорителей.
а — при однотактном выходном каскаде; *б* — при двухтактном выходном каскаде.

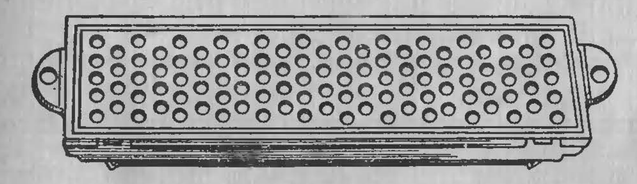


Рис. 5. Плоский электростатический громкоговоритель.

му. Помимо того, ослабление резонансных явлений достигается равномерным распределением сил, возбуждающих подвижную систему громкоговорителя. Все это позволяет получить частотную характеристику электростатического громкоговорителя достаточно равномерной.

Собственная емкость подвижной системы электростатического громкоговорителя SKL-100 составляет 1 600 *пф*. При такой емкости его звуковое давление получилось максимальным, а частотная характеристика — наиболее равномерной.

Дальнейшие работы с электростатическими громкоговорителями привели к созданию плоского громкоговорителя (рис. 5). Такой громкоговоритель размерами 50×160 *мм* развивает звуковую мощность, равную мощности трех электростатических громкоговорителей диаметром 70 *мм*, причем его диаграмма направленности значительно шире диаграммы направленности громкоговорителя с круглым диффузором.

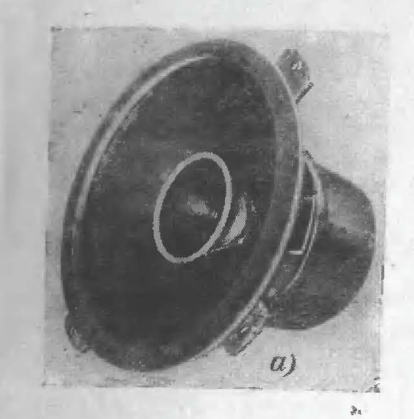
АКУСТИЧЕСКИЕ АГРЕГАТЫ

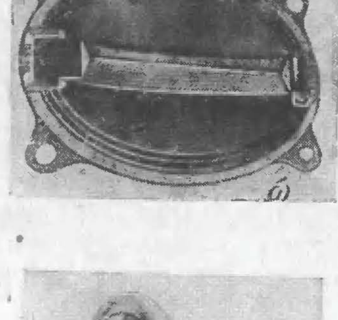
В последнее время зарубежные фирмы разработали и все чаще используют в приемниках комбинированные громкоговорители, состоящие из двух и более громкоговорителей, рассчитанных на воспроизведение различных частот. Получающийся при этом акустический агрегат эффективно воспроизводит широкую полосу частот и занимает относительно мало места.

Простой акустический агрегат, состоящий из двух электродинамических громкоговорителей, показан на рис. 6,*а*. В качестве основного в нем использован 10-ваттный громкоговоритель диаметром 360 *мм*, который воспроизводит нижние и средние частоты. Верхние частоты воспроизводятся громкоговорителем диаметром 100 *мм*, прикрепленным к керну магнитной системы основного громкоговорителя. Звуковые катушки обоих громкоговорителей включены параллельно таким образом, чтобы громкоговорители работали синфазно. Акустический агрегат эффективно воспроизводит полосу частот 40—15 000 *гц* при максимальной мощности 10 *ва*.

На рис. 6,*б* показан акустический агрегат, состоящий из овального электродинамического громкоговорителя с осями 165×245 *мм*, внутри диффузора которого установлен дополнительный электростатический громкоговоритель размерами 52×200 *мм*. Последний имеет несколько изогнутую форму, вследствие чего его глубина достигает 45 *мм*. Собственная емкость подвижной системы электростатического громкоговорителя составляет 2 500 *пф*; его диаграмма направленности на частоте 7 000 *гц* достигает ширины 135° при неравномерности 6 *дб*. Данный акустический агрегат воспроизводит полосу частот 75—10 000 *гц*.

Акустический агрегат, состоящий из трех электродинамических громкоговорителей, изображен на рис. 6,*в*. Здесь





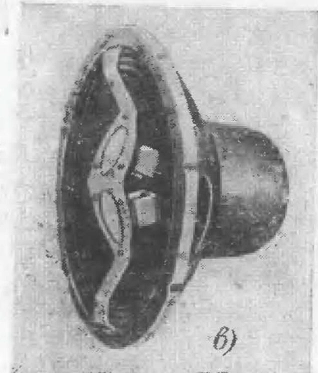


Рис. 6. Акустические агрегаты.
а — из двух электродинамических громкоговорителей; *б* — из электродинамического и электростатического громкоговорителей; *в* — из трех электродинамических громкоговорителей.

в качестве основного использован 10-ваттный громкоговоритель диаметром 310 *мм*. К его диффузородержателю прикреплен специальный кронштейн, на котором под углом друг к другу установлены два дополнительных громкоговорителя верхних частот диаметром по 65 *мм*. Такой акустический агрегат имеет равномерную частотную характеристику и эффективно воспроизводит полосу частот 50—15 000 *гц* при широкой диаграмме направленности излучения.

НОВОЕ В ГРОМКОГОВОРИТЕЛЯХ

Прежде всего следует упомянуть о совершенно новом высокоомном электродинамическом громкоговорителе, разработанном специально для усилителя, оконечный каскад которого не имеет выходного трансформатора. Такой низкочастотный громкоговоритель акустической системы объемного звучания имеет звуковую катушку сопротивлением 800 *ом*. Она по сравнению со звуковыми катушками обычных громкоговорителей удлинена и намотана проводом диаметром 0,045 *мм*. Возможность пробоя ее невелика, так как максимальное напряжение, прикладываемое к ней, не превышает 50 *в*.

Последней новинкой (1956—1957 гг.) является звуковой компрессор (рис. 7). Он представляет собой двойной волновод с отверстиями и щелевыми прорезями, которые служат для создания необходимого в этой системе затухания и распределения излучения. Волноводы соединяются при помощи раструба. К нему же прикреплен и излучатель звука. Звуковые колебания, излучаемые в раструб, проходят через волноводы и выходят наружу сквозь щелевые прорези и отверстия.

Диапазон частот компрессора лежит в пределах 500—7 000 *гц* при весьма незначительном коэффициенте нелинейных искажений. Вследствие столь узкого диапазона компрессор используется как дополнительный громкоговоритель верхних частот в специальных акустических системах объемного звучания. В приемнике он может быть расположен под верхней панелью футляра, а в радиоле консольного типа — на дне футляра. В боковых и задней стенках футляра против прорезей и отверстий сделаны соответствующие вырезы.

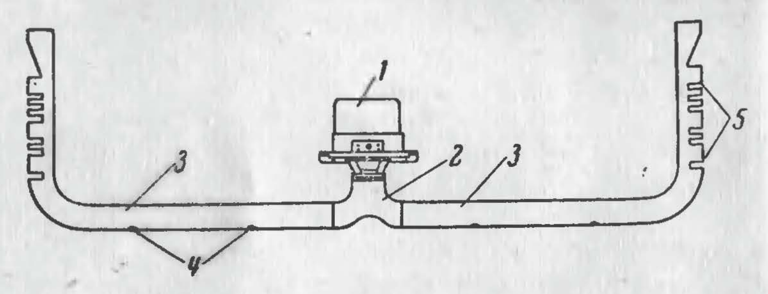


Рис. 7. Звуковой компрессор.
1 — излучатель; *2* — раструб; *3* — волновод; *4* — отверстия; *5* — щелевые прорези.

Отечественная промышленность также разработала и освоила ряд новых типов громкоговорителей, предназначенных для радиоприемников с акустической системой объемного звучания и телевизоров. Среди этих громкоговорителей имеются как овальные (1ГД-9, 5ГД-14), так и двухдиффузорные (2ГД-3, 4ГД-1 и др.). Подробные данные об отечественных громкоговорителях приведены в приложении 1 (стр. 93).

ГЛАВА ВТОРАЯ

АКУСТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Акустическая система радиовещательного приемника состоит из громкоговорителя (или группы громкоговорителей) и футляра, в котором он (или они) установлен. Качественные показатели акустической системы зависят от параметров громкоговорителей, мест расположения их в футляре, а также сочетания тех или иных групп громкоговорителей с целью обеспечения высококачественного воспроизведения различных программ. Немалую роль в этом играют конструкция и материал футляра.

Выбирая акустическую систему к приемнику, конструктор должен учитывать его особенности: схему, габариты, материал и форму футляра и др. Так, например, если в дешевых малоламповых или малогабаритных приемниках можно установить только один или в крайнем случае два громкоговорителя, то в многоламповых дорогих моделях возможно применение сложной акустической системы, состоящей из нескольких громкоговорителей различных типов.

ПРОСТЫЕ АКУСТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Простейшая акустическая система, состоящая из электродинамического громкоговорителя и футляра, наиболее распространена в радиолюбительских конструкциях. Качество звучания такой системы зависит в основном от правильного выбора соотношения между размерами и параметрами громкоговорителя и габаритами футляра. Если в приемнике применить овальный электродинамический громкоговоритель вместо круглого, то качество воспроизведения, несомненно, улучшится. Конечно, немалую роль будет играть и электрический тракт приемника, который должен пропускать ту же полосу частот, что и громкоговоритель. Кроме того, для улучшения качества звучания необходимо скорректировать частотную характеристику акустической системы. Например, если громкоговоритель имеет на каком-либо участке характеристики провал, охватывающий значительную полосу частот, то низкочастотный тракт должен иметь на этом участке частотной характеристики подъем. Весьма важную роль играют и различного рода искажения (подробно о них будет рассказано ниже).

В последние годы в отечественных приемниках стала применяться акустическая система, образованная двумя одинаковыми электродинамическими громкоговорителями круглого типа, установленными на передней стенке футляра и работающими синфазно. Такая акустическая система несколько расширяет диапазон звучания в области нижних частот и уменьшает неравномерность частотной характеристики приемника. Помимо того, она дает возможность использовать громкоговорители небольших размеров (диа-

метром 125—200 *мм*), что позволяет получить лучшее соотношение между диаметром громкоговорителя и габаритами футляра.

Для улучшения качественных показателей системы громкоговорители должны иметь резонансные частоты, различающиеся на 20—30 *гц*. Благодаря этому пики и провалы частотной характеристики одного громкоговорителя попадают между пиками и провалами частотной характеристики другого и компенсируют их. В результате неравномерность частотной характеристики акустической системы получается меньшей, чем у одного громкоговорителя. Важную роль играет и расположение громкоговорителей на отражательной доске. Экспериментально установлено, что наилучшие результаты получаются в том случае, когда громкоговорители сдвинуты к одной из боковых стенок футляра (расположены несимметрично), а расстояние между краями диффузородержателей находится в пределах 20—50 *мм*.

В иностранных приемниках широко используется акустическая система, состоящая из двух громкоговорителей разных типов. В качестве основного здесь обычно применяются круглый электродинамический громкоговоритель диаметром 180—250 *мм* или овальный с осями 180×210 *мм* и больше, рассчитанные, в основном на воспроизведение нижних и средних частот. Дополнительный громкоговоритель, как правило верхнечастотный, выбирается либо электродинамический диаметром 70—100 *мм*, либо электростатический или пьезоэлектрический того же примерно диаметра. Если основной громкоговоритель воспроизводит достаточно широкую полосу частот, то акустическая система из двух различных громкоговорителей может несколько расширить диаграмму направленности излучения приемника на верхних частотах. На рис. 8 показано расположение громкоговорителей в футляре одного из приемником фирмы Телефункен и приведены диаграммы направленности излучения такой акустической системы.

Акустическая система из двух различных громкоговорителей хотя и улучшает качество звучания приемника, естественного воспроизведения все же не дает. Подчеркивание верхних и нижних частот, воспроизводимых двумя различными громкоговорителями, придает звучанию приемника холодный, металлический оттенок. Объясняется это тем, что в средней части частотной характеристики все же остается провал, восполнить который два громкоговорителя не в состоянии.

Введение третьего — среднечастотного — громкоговорителя придает звучанию приемника приятный мягкий тембр, приближая его к наиболее естественному. Интересен в этом отношении приемник, в котором три различных громкоговорителя размещены соответственно местоположению инструментов в оркестре. Справа установлен громкоговоритель нижних частот овального типа с осями 210×320 *мм*, который соответствует расположению духовых инструментов.

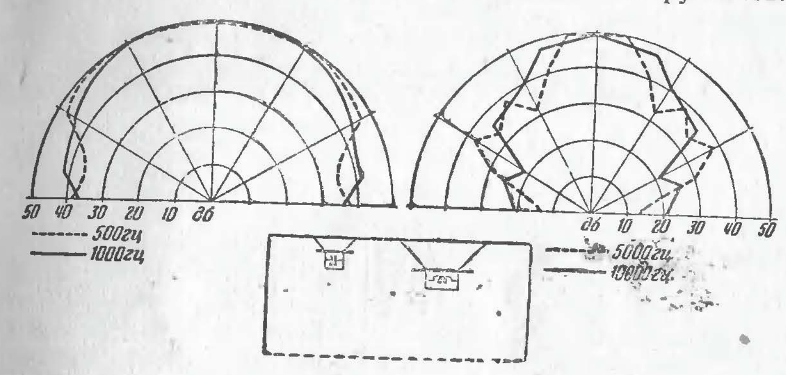


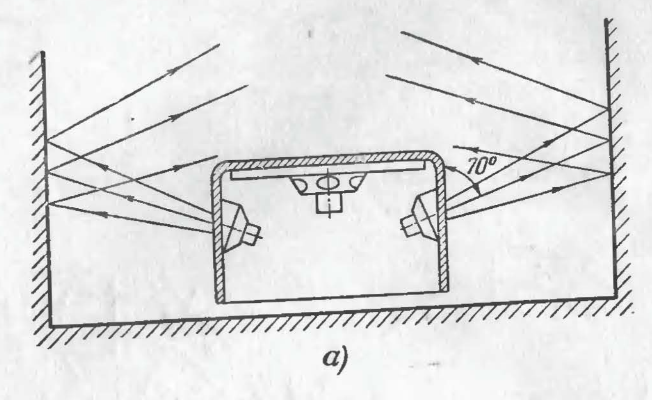
Рис. 8. Расположение громкоговорителей в футляре приемника и диаграммы направленности излучения акустической системы, состоящей из двух различных громкоговорителей.

Флейтам и скрипкам, расположенным примерно в центре оркестра, соответствует электродинамический громкоговоритель диаметром 100 *мм*, воспроизводящий средние частоты. Пьезоэлектрический громкоговоритель того же диаметра, установленный слева, соответствует месту гобоев и кларнетов. По отзывам печати, при прослушивании симфонической музыки через этот приемник у слушателя создается впечатление, что он находится в зале. Однако следует отметить, что положительных результатов при таком количестве громкоговорителей можно достигнуть лишь в том случае, если к каждому громкоговорителю подводить соответствующую полосу частот.

АКУСТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ОБЪЕМНОГО ЗВУЧАНИЯ 3D

Применение нескольких громкоговорителей, установленных на одной отражательной доске приемника, хотя и улучшает его акустические параметры, но впечатление, что звук исходит из одной точки (приемника), сохраняется. Происходит это потому, что на верхних частотах (выше 1 500—

2—1128



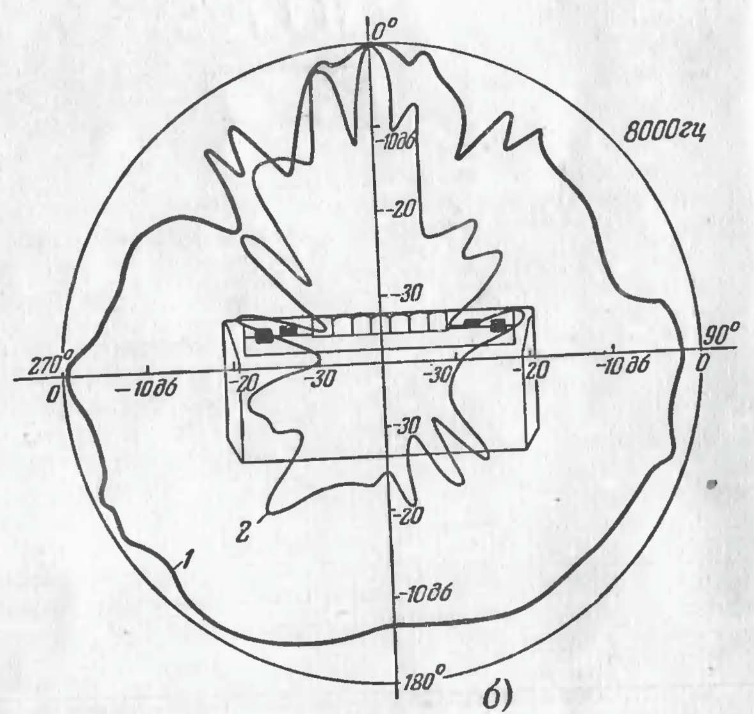


Рис. 9. Расположение громкоговорителей в футляре приемника и диаграмма направленности излучения акустической системы, создающей эффект объемности звучания.

а — расположение громкоговорителей в футляре; *б* — диаграммы направленности излучения на частоте 8 000 *гц* (*1* — при трех громкоговорителях; *2* — при одном фронтальном громкоговорителе).

2 000 *гц*) приемник имеет довольно ярко выраженную характеристику направленности. Действительно, если взглянуть на диаграммы направленности излучения, приведенные на рис. 8, то можно видеть, что нижние частоты (500 и 1 000 *гц*) излучаются почти равномерно в пределах ±90° от осевой линии громкоговорителей, а верхние (5 000 и 10 000 *гц*) ослабляются почти на 30 *дб*. Это и приводит к ощущению направленности звучания. Чтобы избежать этого, необходимо расширить диаграмму направленности излучения на верхних частотах.

В результате многочисленных исследований было найдено несколько вариантов такого расположения громкоговорителей в приемнике, при котором диаграмма направленности излучения на верхних частотах резко расширяется. Такие акустические системы получили название систем объемного звучания.

Как же действует акустическая система объемного звучания? На рис. 9,*а* показано расположение громкоговорителей в футляре одного из приемников, имеющего акустическую систему объемного звучания. Для получения эффекта объемности звучания здесь нужны три громкоговорителя: один — основной, расположенный на передней доске футляра, и два дополнительных, установленных на его боковых стенках. Основной громкоговоритель должен излучать только нижние и средние частоты, а боковые — только верхние, которые, отражаясь от стен, окон и мебели комнаты, рассеиваются во все стороны, создавая тем самым эффект объемности звучания. Комната кажется как бы наполненной музыкой, причем направленность звучания сглаживается, а сам источник звука кажется намного шире приемника.

Приведенная система объемного звучания, когда громкоговорители расположены в горизонтальной плоскости, получила название 3D (от слов 3-Dimension, что означает «звук в трех измерениях»). Впервые эта система была использована фирмой Блаупункт в приемниках «Ривьера» и «Флорида», где, помимо основного овального электродинамического громкоговорителя с осями 210×320 *мм*, установленного на передней отражательной доске, на боковых стенках футляра были помещены два дополнительных электростатических громкоговорителя диаметром 95 *мм*. Против этих громкоговорителей в стенках футляра были сделаны прорези, задрапированные изнутри шелком. В результате наличия дополнительных громкоговорителей и подведения к ним определенной полосы частот характеристика направленности

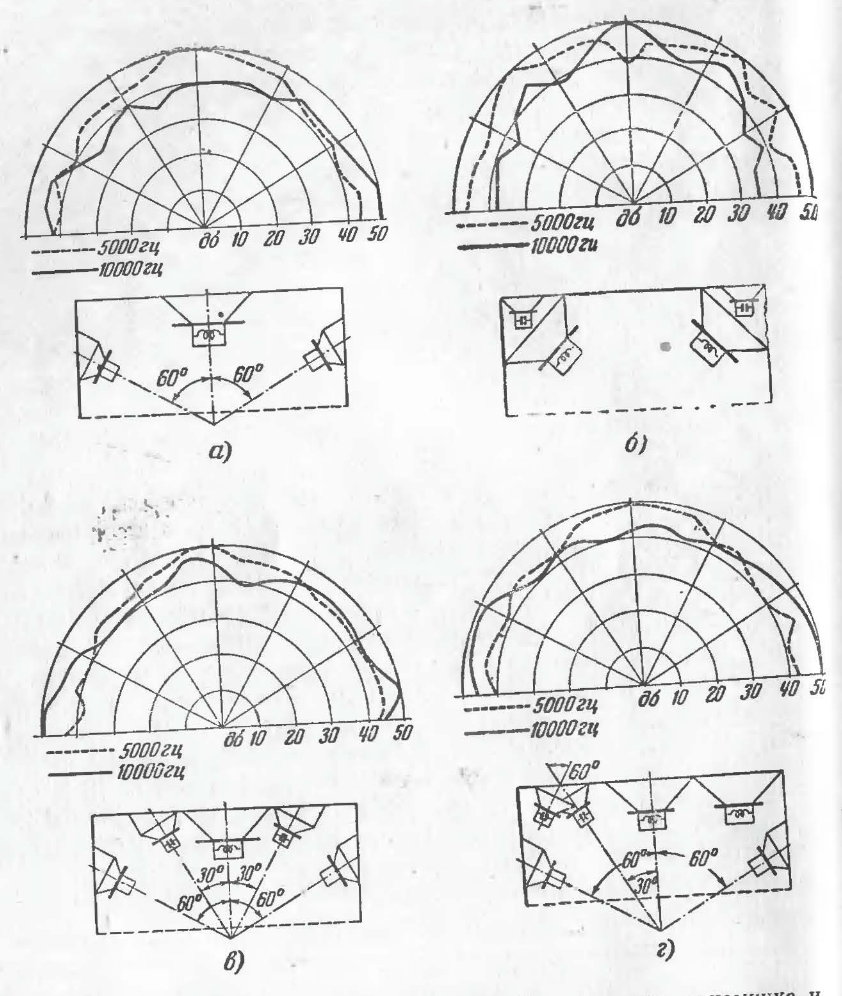


Рис. 10. Расположение громкоговорителей в футляре приемника и диаграммы направленности излучения различных акустических систем объемного звучания.

а — при трех громкоговорителях; *б* — при четырех громкоговорителях: *в* — при пяти громкоговорителях; *г* — при шести громкоговорителях.

излучения этих приемников на верхних частотах значитель- но расширилась (рис. 9,*б*). Для сравнения на том же рисун- ке приведена диаграмма излучения этого же приемника, но с одним громкоговорителем, расположенным на передней отражательной доске футляра.

Первый опыт оказался настолько удачным, что другие фирмы немедленно воспользовались им. В результате по- явилось множество вариантов расположения громкоговори- телей в акустической системе объемного звучания. На рис. 10,*а* показано расположение громкоговорителей и при- ведена диаграмма направленности излучения акустической системы, состоящей из трех электродинамических громкого- ворителей. Здесь дополнительные громкоговорители верхних частот расположены под углом 60° к основному. Это приве- ло к еще большему выравниванию характеристики направ- ленности излучения на верхних частотах звукового диапа- зона.

В другой акустической системе объемного звучания (рис. 10,*б*) использованы четыре громкоговорителя: два основных — электродинамических и два дополнительных — электростатических. Дополнительные громкоговорители верхних частот установлены на передней доске футляра, а основные расположены под углом 45° к ней. Звук от основ- ных громкоговорителей проходит как через отверстия в от- ражательной доске, так и сквозь прорези в боковых стенках футляра. В этом случае основные громкоговорители должны излучать весь спектр воспроизводимого диапазона частот.

Акустическая система объемного звучания, состоящая из пяти громкоговорителей, показана на рис. 10,*в*. В ней на отражательной доске установлен овальный электродинами- ческий громкоговоритель с осями 180×210 *мм*, воспроизво- дящий нижние и средние частоты. Там же, но под углом 30° к основному громкоговорителю помещены два электростати- ческих громкоговорителя верхних частот диаметром по 70 *мм* каждый. На боковых стенках футляра под углом 60° к отражательной доске расположены два электродинамиче- ских громкоговорителя диаметром по 100 *мм*, излучающие верхние и средние частоты.

В акустической системе, приведенной на рис. 10,*г*, при- менено шесть громкоговорителей. Здесь на отражательной доске расположены два основных овальных электродинами- ческих громкоговорителя с осями 180×210 *мм* и два элек- тростатических громкоговорителя верхних частот диаметром по 70 *мм*, установленных под углом 60° один по отношению к другому. На боковых стенках футляра помещены электро- динамические громкоговорители диаметром по 100 *мм*, излу- чающие средние и верхние частоты.

Приведенные варианты расположения громкоговорителей не следует принимать как обязательные. Так, в современных

отечественных радиолах «Люкс» и «Дружба» принята система объемного звучания, состоящая из четырех громкоговорителей, но расположены они не так, как показано на рис. 10,*б*. В этих радиолах в качестве основных использованы овальные громкоговорители 5ГД-14 с осями 170×260 *мм*, расположенные на отражательной доске. Дополнительные громкоговорители верхних частот, также овальные типа 1ГД-9 с осями 98×156 *мм*, помещены на боковых стенках футляра. Такая акустическая система воспроизводит диапазон частот 60—12 000 *гц* при неравномерности частотной характеристики до 14 *дб* и звуковом давлении до 15 *бар*. Неравномерность характеристики направленности излучения при угле поворота ±90° не превышает 15 *дб*.

Четыре громкоговорителя установлены и в приемнике «Фестиваль», но в нем на отражательной доске расположены основной громкоговоритель, воспроизводящий нижние и средние частоты, и громкоговоритель верхних частот. На боковых же стенках установлены громкоговорители, воспроизводящие средние и верхние частоты.

Пять громкоговорителей имеет акустическая система объемного звучания приемника «Беларусь-57». Отличается она от акустической системы радиол «Люкс» и «Дружба» лишь тем, что в ней на отражательной доске между основными громкоговорителями помещен третий громкоговоритель верхних частот.

Шесть громкоговорителей можно расположить и иначе, чем показано на рис. 10,*г*. Например, на отражательной доске, ближе к боковым стенкам, можно установить основные громкоговорители, воспроизводящие нижние и средние частоты, а между ними поместить под углом 30° к отражательной доске один под другим два дополнительных громкоговорителя верхних частот (угол между последними должен быть равен 60°). На боковых стенках футляра в этом случае размещают громкоговорители, воспроизводящие средние и верхние частоты.

Из характеристик направленности излучения акустических систем объемного звучания, приведенных на рис. 10, видно, что с увеличением числа громкоговорителей неравномерность излучения верхних частот становится меньшей. Это, конечно, приводит к повышению естественности воспроизведения приемника.

Все сказанное выше показывает, что на качество воспроизведения приемника сильно влияет расположение громкоговорителей в его футляре. Приведенные на рис. 11

диаграммы направленности иллюстрируют, как с изменением места установки дополнительных громкоговорителей в футляре одного и того же приемника изменяется характеристика направленности его излучения. Из них видно, что с увеличением угла между основным и дополнительными громкоговорителями расширяется диаграмма направленности излучения и уменьшается ее неравномерность. Большую роль здесь играет и ширина диаграммы направленности излучения дополнительных громкоговорителей. Чем шире эта

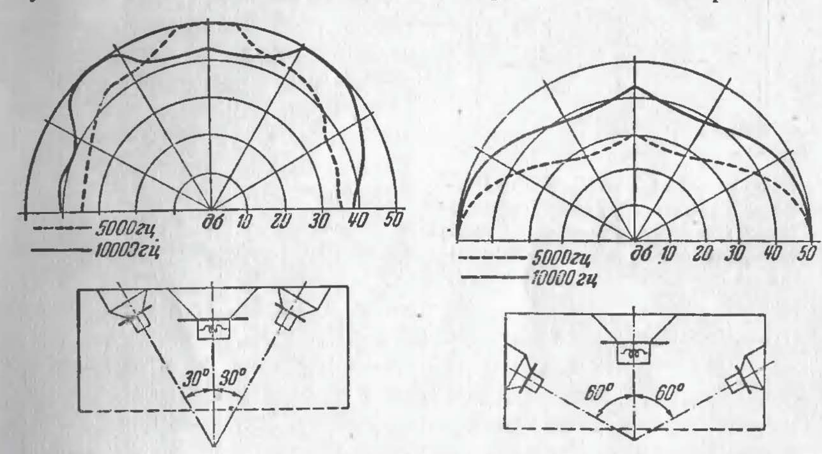


Рис. 11. Изменение характеристики направленности излучения акустической системы в зависимости от расположения громкоговорителей в футляре приемника.

диаграмма, тем меньшую неравномерность будет иметь характеристика направленности излучения всей системы.

Однако установить три и больше громкоговорителей можно лишь в футляре приемника значительных размеров (во всяком случае не меньше чем 500×300×400 *мм*). А как же улучшить качество воспроизведения дешевых приемников, футляр которых имеет значительно меньшие размеры?

Многочисленные эксперименты показали, что получить эффект объемности звучания можно и с меньшим числом громкоговорителей. Так, в одном из приемников среднего класса для создания эффекта объемности звучания использованы два круглых электродинамических громкоговорителя диаметром по 220 *мм*, установленных под углом 70° один относительно другого (рис. 12). При этом звук, излучаемый этими громкоговорителями, включенными синфазно, проходит как через отверстия в отражательной доске, так и

через вырезы в боковых стенках футляра. Для воспроизведения более широкого диапазона частот, а также для получения лучшей характеристики направленности излучения применены двухдиффузорные громкоговорители.

В некоторых более дорогих приемниках на отражательной доске и боковых стенках футляра дополнительно устанавливают один или несколько электродинамических или электростатических громкоговорителей небольшого диаметра, рассчитанных на воспроизведение только верхних частот. Подобная акустическая система, когда громкоговорители расположены под углом к отражательной доске, а против них имеются вырезы как в отражательной доске, так и в боковых стенках футляра, получила название «расположение громкоговорителей на большом экране».

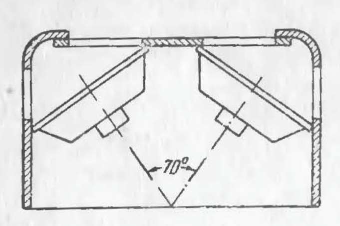


Рис. 12. Расположение громкоговорителей в футляре приемника, где акустическая система объемного звучания составлена из двух громкоговорителей.

Но оказалось, что и два громкоговорителя тоже не предел. Дальнейшие эксперименты доказали возможность получения эффекта объемности звучания всего лишь с одним громкоговорителем, если применить специальное устройство — распределитель звука (рис. 13,*а*). В этом случае на отражательной доске, которая помещена внутри футляра,

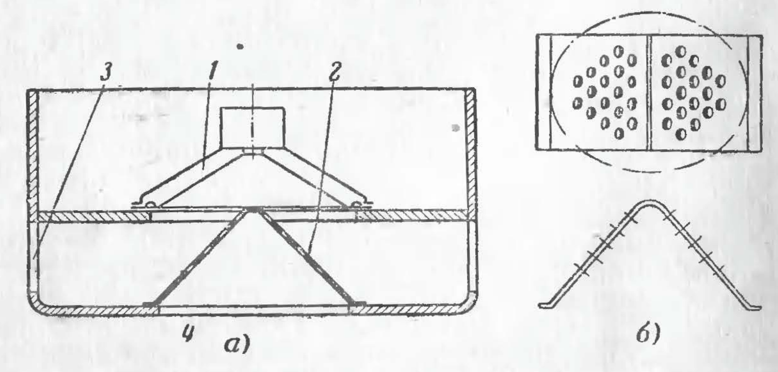


Рис. 13. Устройство акустической системы объемного звучания с одним громкоговорителем.

а — расположение громкоговорителя и распределителя звука в футляре; *б* — устройство распределителя звука (*1* — овальный громкоговоритель; *2* — распределитель звука; *3* — звуковые окна в боковых стенках; *4* — звуковое окно в отражательной доске).

устанавливается овальный двухдиффузорный громкоговоритель, воспроизводящий широкую полосу частот. К той же доске прикрепляется распределитель звука, выполненный в виде изогнутой под углом перфорированной полосы металла (рис. 13,*б*). Звуковые колебания, излучаемые громкоговорителем, проходя сквозь отверстия в распределителе звука к окну в передней стенке футляра, а также отражаясь от

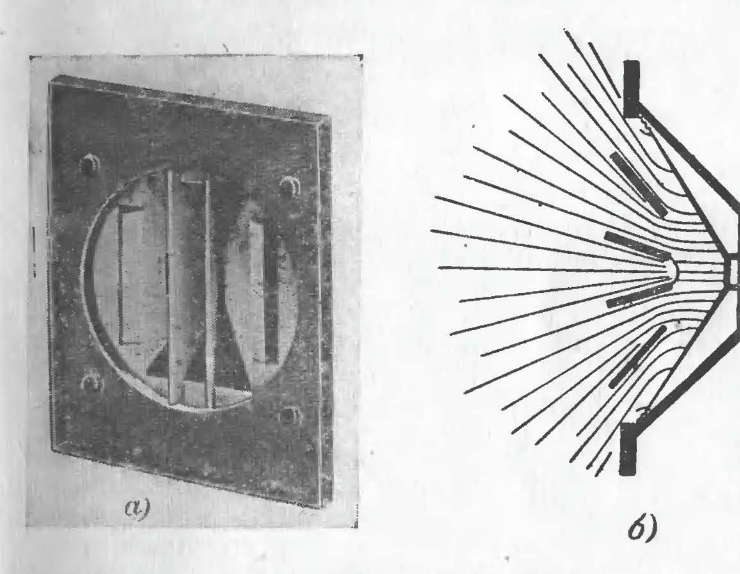


Рис. 14. Распределитель звука, предназначенный для установки на боковой стенке футляра приемника.

а — внешний вид; *б* — схема действия.

стенок распределителя, попадают наружу через окна в боковых стенках. Для получения наименьшей неравномерности круговой характеристики излучения необходимо правильно выбрать угол перегиба распределителя, подобрав его с таким расчетом, чтобы отраженные от него звуковые колебания были направлены только через окна в боковых стенках футляра.

Задачу получения эффекта объемности звучания с одним громкоговорителем можно решить и иначе. В одном из приемников, например, на передней панели футляра установлен овальный электродинамический громкоговоритель, к задней стороне которого прикреплены два отражателя из гетинакса, направляющие излучаемые обратной сто-

роной диффузора звуковые колебания через отверстия в боковых стенках, где установлены распределители звука.

Как уже говорилось ранее, для получения эффекта объемности звучания необходимо обеспечить ненаправленное

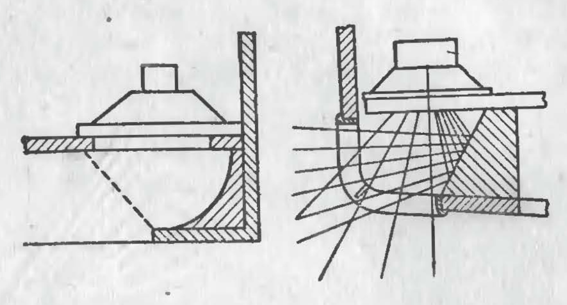


Рис. 15. Схемы действия распределителей звука при установке громкоговорителей на отражательной доске футляра.

излучение верхних звуковых частот. В последнее время для этой цели иностранные фирмы стали применять различные распределители звука, устанавливая их непосредственно перед громкоговорителями верхних частот. На рис. 14 показаны внешний вид и принцип действия одного из таких распределителей звука, устанавливаемого на боковой стенке футляра. Для громкоговорителей, расположенных на отражательной доске футляра, применяются распределители звука, образуемые стенками футляра или его архитектурным оформлением (рис. 15).

В некоторых случаях для улучшения качества звучания приемников громкоговорители верхних частот, устанавливаемые на боковых стенках футляра, помещают в специальные акустические камеры (резонаторы), изготовленные из тонкой фанеры (рис. 16). Электродинамический громкоговоритель, помещенный внутри такой камеры перед верхним отверстием в боковой стенке футляра, излучает сквозь это отверстие главным образом верхние звуковые частоты. Через нижнее отверстие в боковой стенке проходят со-

Рис. 16. Схема устройства акустической камеры-резонатора.

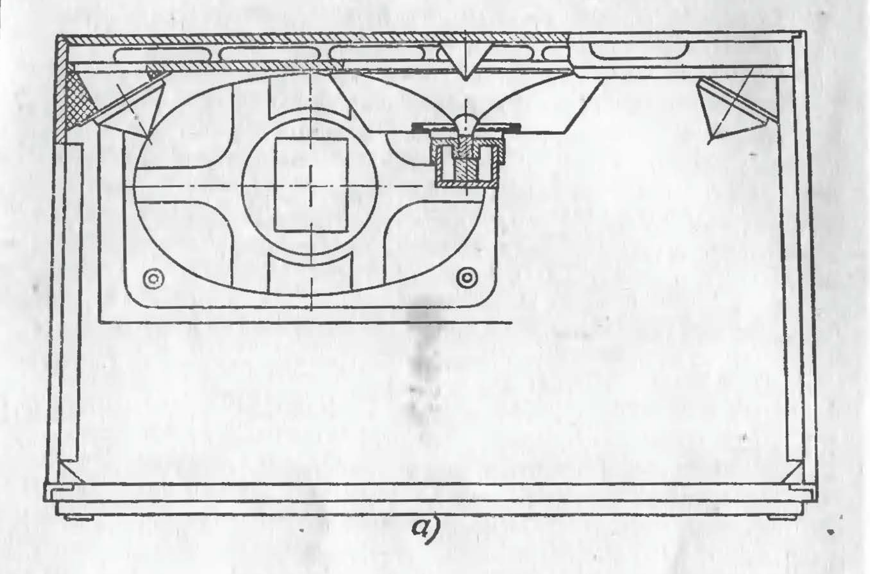
впадающие по фазе средние и верхние частоты звукового диапазона, излучаемые обратной стороной диффузора. Введение таких камер, по отзывам печати, значительно улучшает качество воспроизведения приемника, приближая его к наиболее естественному, а также повышает звуковое давление. Следует, однако, отметить, что положительные результаты с такой акустической системой можно получить лишь в том случае, если правильно будут выбраны объем камеры и размер (площадь) отверстий, в особенности нижнего.

АКУСТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ОБЪЕМНОГО ЗВУЧАНИЯ 4R

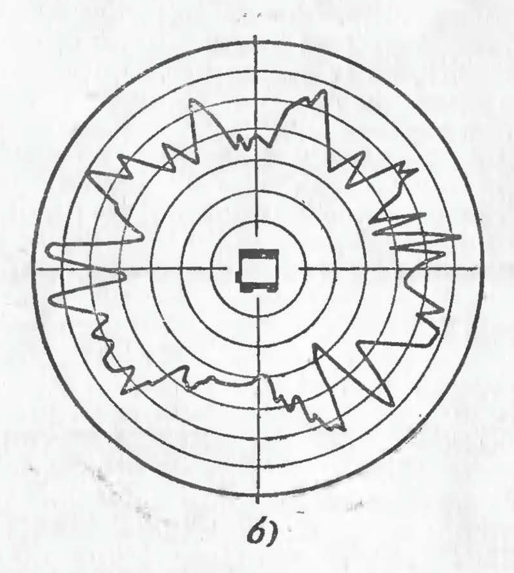
Совершенно иначе построила акустическую систему объемного звучания фирма Гретц. Разработанная ею система расположения громкоговорителей получила название 4R (от слова Raumton, что означает «объемное звучание»). От акустической системы объемного звучания 3D она отличается тем, что дополнительные громкоговорители верхних частот в ней располагаются под верхней панелью футляра на специальной резонирующей планке (рис. 17,*а*). Сам футляр между верхней панелью и резонирующей планкой имеет по всему периметру вырезы, закрытые снаружи декоративной сеткой. Помимо этого, под верхней панелью перед диффузором центрального громкоговорителя верхних частот установлен специальный конус, который рассеивает звуковые колебания, излучаемые этим громкоговорителем.

Верхние и средние частоты, излучаемые вверх центральным, а в некоторых моделях еще и боковыми громкоговорителями, проходят сквозь прорези в футляре и радиально распространяются во всех направлениях почти равномерно. Кроме того, благодаря наличию между верхней панелью и резонирующей планкой пустого пространства к. п. д. акустической системы 4R, по данным фирмы, повышается, особенно на средних и верхних частотах (800—8 000 *гц*). Все это позволяет получить естественное воспроизведение приемника, не зависящее от акустических особенностей помещения, в котором он установлен. Характеристика направленности излучения приемника с системой 4R получается почти кругообразной не только в горизонтальной плоскости, но и в вертикальной (рис. 17,*б*).

Впервые акустическая система объемного звучания 4R была применена фирмой Гретц в приемниках «Симфония 4R» и «Мелодия 4R». В первом из них в качестве основного использован овальный электродинамический громкого-



а)



б)

Рис. 17. Расположение громкоговорителей в футляре приемника и диаграмма направленности излучения акустической системы объемного звучания 4R.

а — расположение громкоговорителей в футляре; *б* — диаграмма направленности излучения акустической системы в вертикальной плоскости.

воритель с осями 210×320 *мм*. На резонирующей планке расположен круглый электродинамический громкоговоритель верхних частот диаметром 100 *мм*. Дополнительно по углам футляра под углом к отражательной доске установлены еще два электростатических громкоговорителя верхних частот диаметром 70 *мм*. Расположение громкоговорителей в футляре приемника «Симфония 4R» показано на рис. 17,*а*.

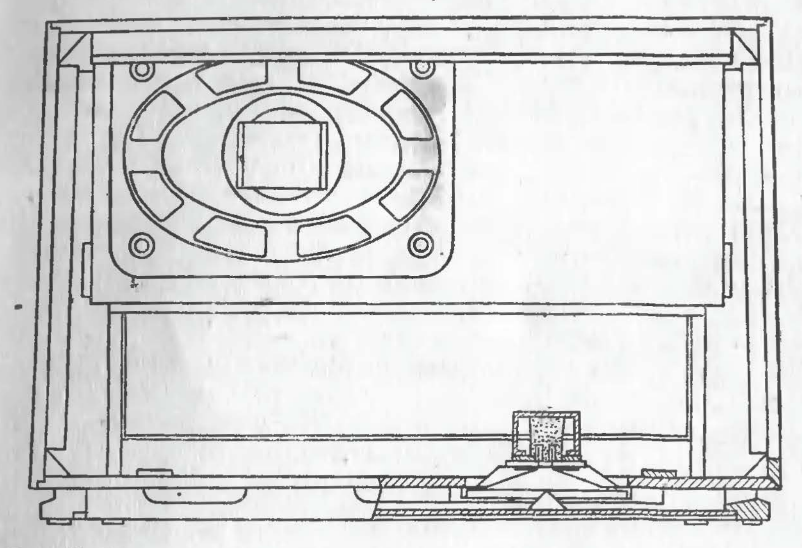


Рис. 18. Видоизменение расположения дополнительного громкоговорителя в акустической системе объемного звучания 4R.

Аналогичную акустическую систему объемного звучания применяют в своих приемниках и другие фирмы, но с той лишь разницей, что дополнительный громкоговоритель верхних частот устанавливается не на резонирующей планке, а непосредственно на верхней панели футляра. В этом случае окно в верхней панели покрывается пластмассовым наличником (решеткой), который предохраняет громкоговоритель от возможного повреждения и одновременно выполняет функцию распределителя звука.

По мнению многих специалистов, акустическая система объемного звучания 4R позволяет получить лучшие результаты, чем акустическая система 3D, особенно если низкочастотный тракт выполнен по двухканальной схеме.

В последнее время акустическая система объемного звучания 4R претерпела некоторые изменения. Теперь допол-

нительный громкоговоритель верхних частот устанавливают не на резонирующей планке в верхней части футляра, а непосредственно на шасси, расположив его диффузором вниз (рис. 18). Звуковые колебания, излучаемые этим громкоговорителем, проходят сквозь отверстие в дне футляра и, отражаясь от поверхности предмета, на котором установлен приемник, распространяются во все стороны. Чтобы обеспечить радиальное распространение звуковых колебаний, футляр приемника должен иметь либо прорези в нижней части, либо довольно высокие ножки, при помощи которых между футляром приемника и предметом, на котором он установлен, образуется необходимое пустое пространство.

Приведенные данные со всей очевидностью показывают, что акустические системы объемного звучания обладают рядом значительных преимуществ. Качество звучания приемника с такой системой значительно выше, чем приемника с громкоговорителями, расположенными только на отражательной доске футляра, даже если полоса пропускания последних значительно шире. Все это говорит о большом будущем акустических систем объемного звучания, которые с каждым днем претерпевают различные изменения, направленные на достижение наиболее естественного воспроизведения как музыкальных, так и речевых программ. Этому также способствуют и создаваемые специальные схемы усилителей низкой частоты, предназначенные для работы с акустической системой объемного звучания.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

НИЗКОЧАСТОТНЫЙ ТРАКТ

В предыдущих главах мы рассказали о новых громкоговорителях и акустических системах, применяемых в современных радиовещательных приемниках. Но, как указывалось выше, добиться действительно высокого качества звучания можно лишь в том случае, если весь тракт приемника, начиная от антенного входа и кончая акустической системой, будет пропускать достаточно широкую полосу частот. При современном состоянии техники радиоприема, когда высокочастотная часть доведена до относительно высокой степени совершенства, наибольшее значение приобретает совершенствование усилителя низкой частоты с тем, чтобы совместно с акустической системой обеспечить пропускание необходимой полосы звуковых частот, а в особых случаях

и скорректировать частотную характеристику акустической системы.

Для обеспечения высококачественного воспроизведения разнообразных программ необходимо, чтобы усилитель низкой частоты совместно с акустической системой пропускали полосу частот от 60—80 до 10 000—12 000 *гц*. Помимо этого, в большинстве случаев бывает весьма желательным предусмотреть подъем частотной характеристики низкочастотного тракта на 6—15 *дб* как на нижних (60—500 *гц*), так и на верхних (5 000—12 000 *гц*) частотах, что также благоприятно сказывается на воспроизведении передач, особенно музыкальных. Кроме того, необходимо обеспечить возможность раздельного регулирования тембра на нижних и верхних частотах, а также разделение полосы на каналы в случае применения акустической системы объемного звучания.

Выполнение перечисленных требований не представляет особой сложности, хотя такой усилитель низкой частоты в ряде случаев может иметь сравнительно большое число ламп и деталей. Ниже приводятся разнообразные схемы усилителей низкой частоты, в том числе и для приемников с акустической системой объемного звучания.

НИЗКОЧАСТОТНЫЙ ТРАКТ МАЛОГАБАРИТНОГО ПРИЕМНИКА

Уже само название «малогабаритный» обычно означает, что размеры приемника невелики, его электрическая схема значительно упрощена, а в акустической системе применен один громкоговоритель. Поэтому полное удовлетворение перечисленных выше требований в таких приемниках представляет большие трудности, да и вряд ли является целесообразным. Следовательно, улучшение звучания малогабаритного приемника возможно лишь в известных пределах, да и то лишь за счет применения специальных электрических схем низкочастотного тракта.

В простом малогабаритном приемнике обычно используется небольшой электродинамический громкоговоритель круглой или овальной формы. Такой громкоговоритель, имея малые массу и размер диффузора, хорошо воспроизводит верхние частоты звукового диапазона и плохо — нижние. Следовательно, для улучшения качества звучания приемника необходимо повысить эффективность воспроизведения нижних частот.

Уже давно было установлено, что ухо обладает заметной нелинейностью. Вследствие этого при прослушивании сину-

соидальных колебаний нижних частот в слуховом аппарате человека возникают гармонические и комбинационные тона. Громкость звучания нижних частот оценивается на слух не только по интенсивности основной частоты, но и по интенсивности этих гармонических составляющих, причем наибольшее влияние гармонических колебаний наблюдается в том случае, когда преобладают нечетные гармоники.

Эта физиологическая особенность человеческого уха была использована в органах для воспроизведения нижних частот

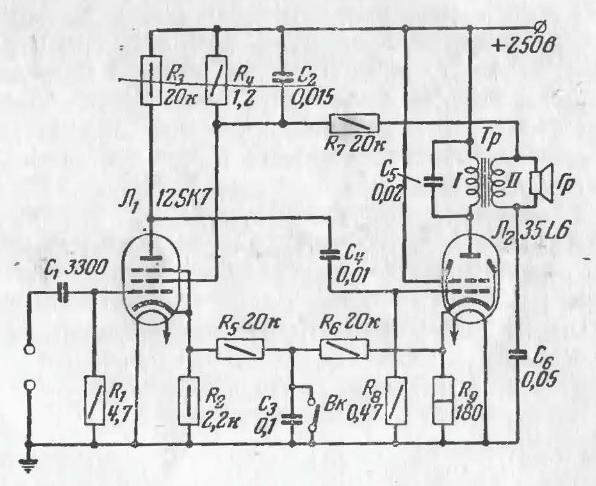


Рис. 19. Схема низкочастотного тракта, выполненная по принципу получения „искусственного баса".

звукового диапазона. Она же положена в основу электрических схем низкочастотного тракта, которые получили название «искусственного баса». Сущность таких схем заключается в искусственном повышении (преимущественно за счет третьей гармоники) коэффициента нелинейных искажений усилителя низкой частоты в области частот до 100—200 *гц*. Это приводит к расширению динамического диапазона звучания, так как гармонические составляющие основного тона имеют более высокие частоты, чем основной тон, и хорошо воспроизводятся громкоговорителями небольших размеров. Действительно, электродинамический громкоговоритель диаметром 100—150 *мм* почти совсем не воспроизводит частоту 50 *гц*, но сравнительно неплохо излучает ее третью гармонику (150 *гц*). Однако в силу отмеченной нелинейности человеческого уха нам будет казаться, что слышна основная частота, т. е. частота 50 *гц*.

На рис. 19 приведена одна из наиболее простых схем «искусственного баса», которая используется в недорогих малоламповых приемниках, работающих на распространенных радиолампах. В ней увеличение коэффициента нелинейных искажений на нижних частотах достигается введением положительной обратной связи, которая образуется сопротивлениями R_5, R_6 и конденсатором C_3 (выключатель *Вк* разомкнут).

Действует такой усилитель следующим образом. Напряжение низкой частоты с катода лампы $Л_2$ через цепь положительной обратной связи R_5R_6 подается на катод лампы $Л_1$. Фаза этого напряжения противоположна фазе напряжения от отрицательной обратной связи, образующегося на сопротивлении R_2 из-за отсутствия блокирующего это сопротивление конденсатора. Вследствие этого положительная обратная связь компенсирует отрицательную, вызывая повышение коэффициента усиления и нелинейных искажений усилителя. Подбором величин сопротивлений R_5, R_6 и конденсатора C_3 можно добиться того, что действие положительной обратной связи будет проявляться лишь на нижних частотах, начиная с какой-то заданной частоты.

Следует отметить, что подобные схемы усилителей низкой частоты весьма чувствительны к фону переменного тока и требуют принятия специальных мер к его снижению. В приведенной схеме снижение уровня фона достигается комбинированным путем посредством отрицательной обратной связи, осуществляемой в цепи экранирующей сетки первой лампы ($Л_1$). На экранирующую сетку поступают два различного вида переменных напряжения: через конденсатор C_2 — напряжение пульсации (фона) от выпрямителя и с помощью делителя $C_6R_7C_2$ — часть напряжения сигнала со вторичной обмотки выходного трансформатора *Тр*. Переменное напряжение, действующее на экранирующей сетке, как и напряжение сигнала на первой сетке, управляет анодным током лампы, вызывая образование переменного напряжения на нагрузочном сопротивлении R_3. Таким образом, напряжение пульсации, поступающее на экранирующую сетку лампы $Л_1$, вызывает появление на сопротивлении R_3, а следовательно, и на сетке лампы $Л_2$ также напряжения пульсации. Но это напряжение противоположно по фазе напряжению пульсации, подводимому к сетке этой лампы от выпрямителя через сопротивление R_3. В результате действующее напряжение пульсации на сетке лампы $Л_1$ уменьшается и фон на выходе усилителя резко падает.

Вследствие наличия в цепи отрицательной обратной связи конденсатора C_2 со вторичной обмотки трансформатора $Тр$ на экранирующую сетку лампы $Л_1$ поступают лишь нижние частоты. Поэтому данная цепь отрицательной обратной связи ($C_6R_7C_2$) корректирует характеристику усилителя лишь в области нижних частот и также способствует ослаблению фона.

Для более естественного воспроизведения музыкальных передач необходим некоторый подъем как нижних, так и верхних частот звукового спектра. Но при прослушивании речевых передач подъем нижних звуковых частот весьма нежелателен, ибо это приводит к так называемому «бубнению». Чтобы хорошо можно было слушать речевые передачи, в усилитель введен регулятор тембра — выключатель *Вк*, который при прослушивании речевых передач замыкает накоротко конденсатор C_3. При этом положительная обратная связь выключается и в обоих каскадах действуют отрицательные обратные связи по току.

Для лучшего воспроизведения разнообразных программ необходимо обратить серьезное внимание на параметры выходного трансформатора. С одной стороны, он должен иметь достаточно большую индуктивность первичной обмотки, чтобы по возможности лучше пропускать нижние звуковые частоты. С другой стороны, для хорошего воспроизведения верхних частот его индуктивность рассеяния должна быть малой. Чтобы удовлетворить оба эти условия в усилителях низкой частоты, собранных по схеме «искусственного баса», применяют выходной трансформатор с чередующимися обмотками. При налаживании низкочастотного тракта, смонтированного по схеме рис. 19, следует обратить серьезное внимание и на подбор величин конденсатора C_3 и сопротивлений R_5 и R_6.

Схемы, подобные рассмотренной (рис. 19), широко применяются в дешевых приемниках. Иногда, используя комбинированные радиолампы, составляют более сложные схемы. Однако результаты получаются примерно одинаковыми.

Некоторые фирмы, наоборот, считают, что хорошего качества звучания можно добиться лишь путем введения частотно-зависимой отрицательной обратной связи, охватывающей весь низкочастотный тракт. На рис. 20 приведена схема оконечного каскада дешевого приемника, в котором напряжение отрицательной обратной связи снимается со вторичной обмотки выходного трансформатора и подается на управляющую сетку лампы предварительного усилителя низкой частоты. Элементы отрицательной обратной связи

подобраны таким образом, что они обеспечивают подъем частотной характеристики в низкочастотной части звукового спектра на 6—8 *дб*. Это и приводит к улучшению качества звучания.

Другая схема усилителя низкой частоты, примененная в недорогом приемнике с УКВ ЧМ диапазоном, приведена

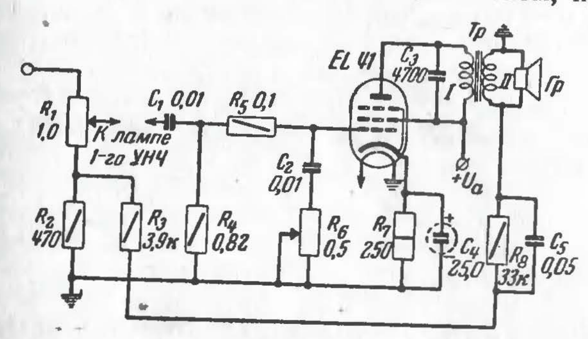


Рис. 20. Схема оконечного каскада дешевого приемника с частотно-зависимой отрицательной обратной связью, создающей подъем частотной характеристики в области нижних частот.

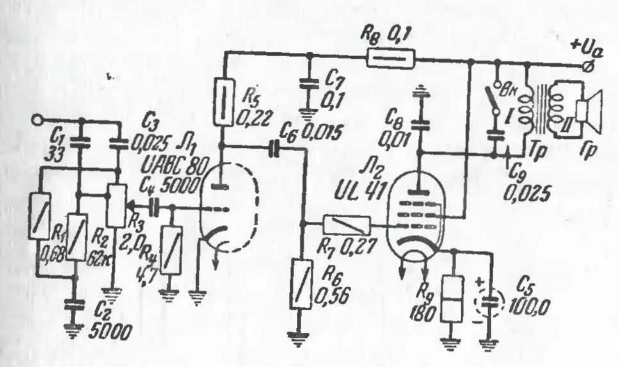


Рис. 21. Схема простого усилителя низкой частоты, в котором подъем частотной характеристики осуществляется во входном устройстве.

на рис. 21. Здесь подъем частотной характеристики в области нижних звуковых частот осуществляется во входном устройстве усилителя при помощи регулятора громкости с тонкомпенсацией.

В широкополосных усилителях низкой частоты наиболее часто используются регуляторы громкости с тонкомпенсацией. Необходимость в этом объясняется особенностью

3*

человеческого уха реагировать на громкость воспроизведения в зависимости от частоты и силы звука. Эта зависимость выражается так называемыми кривыми равной громкости. Из этих кривых следует, что с понижением громкости воспроизведения слуховое восприятие нижних частот значительно ослабляется, в то время как восприятие средних частот изменяется мало. Чтобы сохранить естественное соотношение громкостей различных частот при одновременном их ослаблении, в низкочастотный тракт вводят регулятор громкости с тонкомпенсацией, который создает неизменный для слуха тембр звучания при разных громкостях воспроизведения.

Отличительная способность рассмотренной схемы — отсутствие отрицательной обратной связи. Как видно, приведенные схемы почти ничем не отличаются от подобных схем отечественных приемников третьего класса.

НИЗКОЧАСТОТНЫЙ ТРАКТ С РАЗДЕЛЕНИЕМ ПОЛОСЫ ЧАСТОТ НА КАНАЛЫ

В более сложных приемниках, где есть возможность использовать акустическую систему из нескольких громкоговорителей, для достижения высокого качества звучания очень важно обеспечить, чтобы к каждому громкоговорителю подводилась соответствующая полоса частот. Примером такого включения громкоговорителей может служить схема низкочастотного тракта, приведенная на рис. 22. Здесь дополнительный пьезоэлектрический громкоговоритель $Гр_2$

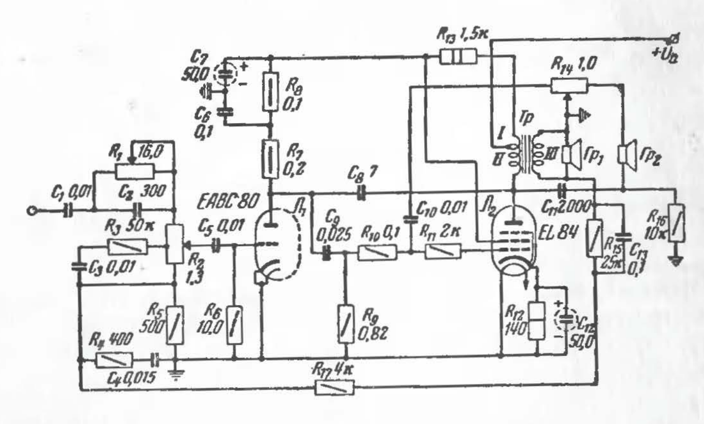


Рис. 22. Схема низкочастотного тракта приемника с пьезоэлектрическим громкоговорителем верхних частот.

подключен к аноду оконечной лампы через фильтр $R_{16}C_{11}$, пропускающий только средние и верхние частоты. Величину подводимого к нему звукового напряжения можно изменять с помощью переменного сопротивления R_{14}. Кроме того, это же сопротивление используется еще и как регулятор тембра верхних частот в цепи управляющей сетки оконечной лампы. Такая комбинированная регулировка позво-

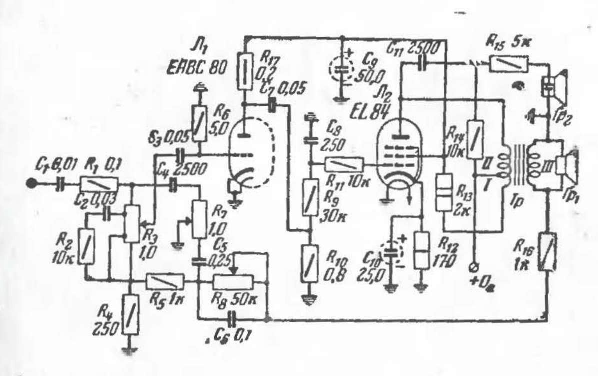


Рис. 23. Схема усилителя с дополнительным электростатическим громкоговорителем верхних частот.

ляет получить значительное изменение частотной характеристики в области верхних частот.

Регулировка нижних частот производится переменным сопротивлением R_1, осуществляющим лишь завал нижних частот. Необходимый подъем этих частот обеспечивается цепочкой $R_3C_3R_5$ и частотно-зависимой обратной связью.

На рис. 23 приведена другая схема аналогичного усилителя низкой частоты, где для воспроизведения верхних частот использован электростатический громкоговоритель $Гр_2$. Он подключен к аноду оконечной лампы через разделительный конденсатор небольшой емкости C_{11}. Вследствие этого к громкоговорителю подводятся только средние и верхние частоты. Регуляторы тембра верхних (R_7) и нижних (R_8) частот включены в цепь частотно-зависимой отрицательной обратной связи, охватывающей весь низкочастотный тракт.

Выше мы рассказывали о приемнике, у которого три громкоговорителя расположены на отражательной доске в соответствии с местоположением инструментов в оркестре. На рис. 24 приведена схема низкочастотного тракта этого приемника, обеспечивающая по своим электрическим параметрам воспроизведение широкой полосы частот. Разделение

спектра звуковых частот на каналы произведено на выходе приемника. К основному громкоговорителю $Гр_1$ подводится весь спектр частот. Среднечастотный громкоговоритель $Гр_2$ подключен ко вторичной обмотке выходного трансформатора через конденсатор C_{20}, задерживающий нижние звуковые

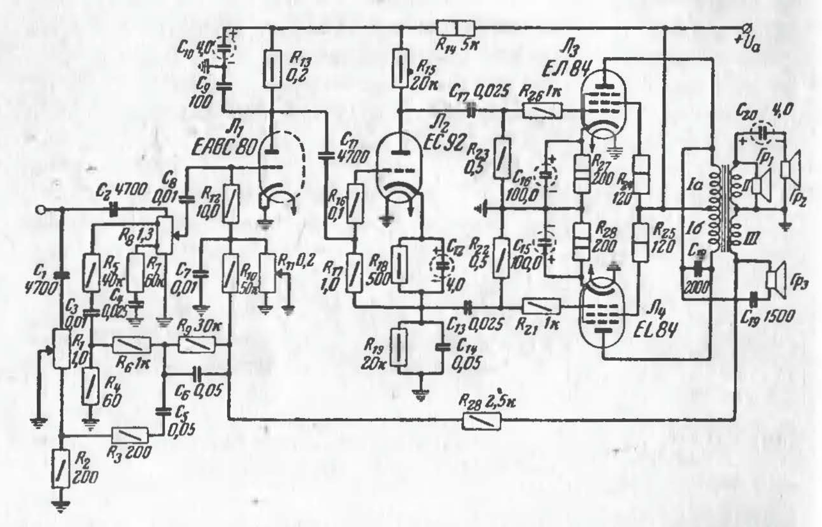


Рис. 24. Схема усилителя с тремя различными громкоговорителями, которые расположены на отражательной доске футляра в соответствии с местоположением инструментов в оркестре.

частоты (подробно о назначении этого конденсатора будет рассказано ниже). Пьезоэлектрический громкоговоритель верхних частот $Гр_3$ включен в цепь отрицательной обратной связи. В качестве регулятора тембра верхних частот использовано сопротивление R_1, а нижних — сопротивление R_{11}.

Приведенные нами схемы усилителей низкой частоты хотя и рассчитаны на воспроизведение широкой полосы частот, находят применение лишь в тех случаях, когда используется простая акустическая система.

ШИРОКОПОЛОСНЫЕ УСИЛИТЕЛИ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ С ОДНОТАКТНЫМ ВЫХОДНЫМ КАСКАДОМ

Если в приемниках с простой акустической системой разделение полосы частот, подводимой к громкоговорителям, улучшает качество звучания и является лишь желательным, то для получения эффекта объемности звучания подведение

к каждой группе громкоговорителей определенной полосы частот играет решающую роль.

Разделение полосы воспроизводимых приемником частот на каналы необходимо еще и для того, чтобы снизить возникающие в широкополосном низкочастотном тракте интермодуляционные искажения. Этот вид искажений, проявляющийся в том, что при сильной басовой передаче верхние звуковые частоты дополнительно модулируются нижними

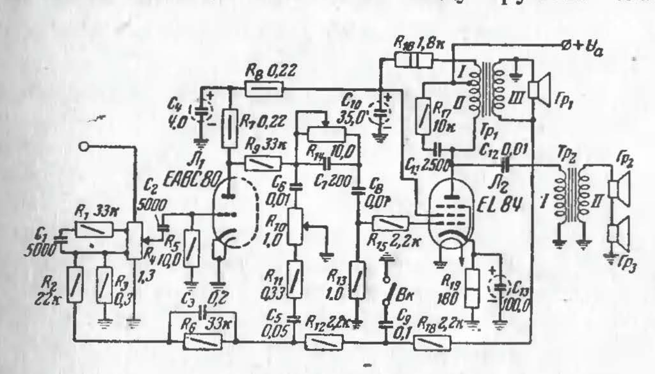


Рис. 25. Схема усилителя низкой частоты приемника с акустической системой объемного звучания, в котором разделение полосы воспроизводимых частот на каналы производится на выходе при помощи двух выходных трансформаторов.

звуковыми частотами, имеет место в том случае, когда полоса пропускания простирается от 50—70 до 10 000—12 000 *гц*.

Раньше, когда низкочастотный тракт приемника пропускал полосу частот от 80—100 до 5 000—7 000 *гц*, интермодуляционные искажения сказывались незначительно и их можно было не принимать во внимание. Однако в приемниках с акустической системой объемного звучания, где усилитель низкой частоты должен пропускать широкий спектр звуковых частот, неминуемо возникает модуляция какой-либо верхней звуковой частоты другой более низкой частотой, а это и приводит к интермодуляционным искажениям. В результате звучание приемника искажается.

Наиболее распространено разделение полосы частот на выходе низкочастотного тракта. Одна из таких схем приведена на рис. 25. Здесь регулятор громкости R_4 — компенсированный. Он имеет два отвода, к которым подключены корректирующие цепочки, связанные с частотно-зависимой отрицательной обратной связью. Благодаря этому достигает-

ся подъем частотной характеристики в области нижних частот. Регулятор нижних частот R_{14} позволяет лишь заваливать частотную характеристику. Верхние частоты регулируются потенциометром R_{10}, включенным одновременно в цепь отрицательной обратной связи и в цепь управляющей сетки оконечной лампы. Этот регулятор позволяет получить как подъем, так и завал частотной характеристики. Выключатель *Вк* предназначен для сужения полосы воспроизводимых частот при прослушивании грамзаписей и АМ радиостанций.

К аноду оконечной лампы подключены два выходных трансформатора: $Тр_1$ и $Тр_2$. Первый из них питает основной электродинамический громкоговоритель $Гр_1$, воспроизводящий нижние и средние частоты. Параллельно первичной обмотке этого трансформатора включена цепочка $R_{17}C_{11}$, корректирующая частотную характеристику на частоте 4 000—5 000 *гц*. Трансформатор $Тр_2$ питает электродинамические громкоговорители верхних частот $Гр_2$ и $Гр_3$. Он подключен к аноду оконечной лампы через конденсатор C_{12}, емкость которого выбрана с таким расчетом, чтобы его реактивное сопротивление на принятой граничной частоте было равно входному сопротивлению трансформатора $Тр_2$. Вследствие этого нижние звуковые частоты подводятся только к выходному трансформатору $Тр_1$, а верхние—и к громкоговорителям верхних частот, которые ввиду высокого реактивного сопротивления конденсатора C_{12} нижних звуковых частот не воспроизводят.

Сопротивление нагрузки оконечной лампы на верхних звуковых частотах состоит из параллельно включенных выходных трансформаторов $Тр_1$ и $Тр_2$ с сопротивлениями Z_1 и Z_2. Распределение мощности между громкоговорителями зависит от соотношения этих сопротивлений: если Z_2 больше Z_1, то к громкоговорителям верхних частот будет подводиться меньшая звуковая мощность. Когда Z_2 меньше Z_1, то меньшая звуковая мощность будет подводиться к основному громкоговорителю.

Изменение распределения мощностей между группами громкоговорителей сказывается в первую очередь на диаграмме направленности излучения. Равномерное излучение как верхних, так и нижних частот звукового диапазона получается только при правильном выборе соотношения между сопротивлениями Z_1 и Z_2.

Другой вариант разделения частот на выходе усилителя показан на рис. 26. Здесь все громкоговорители питаются

от одного выходного трансформатора, но громкоговорители верхних частот подключены к выводам вторичной обмотки через конденсатор большой емкости C_{14}. Отличие этой схемы от предыдущей заключается в том, что емкость разделительного конденсатора C_{14} выбирается с таким расчетом, чтобы его реактивное сопротивление на принятой граничной частоте было равно полному сопротивлению звуковых катушек громкоговорителей верхних частот на этой же частоте.

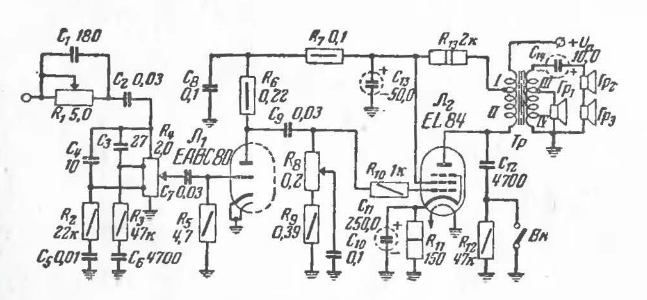


Рис. 26. Схема низкочастотного тракта приемника с акустической системой объемного звучания, в котором разделение полосы воспроизводимых частот на каналы производится на выходе при помощи разделительного конденсатора.

Приведенные схемы усилителей низкой частоты с разделением полосы воспроизводимых частот на выходе различаются лишь способом включения громкоговорителей. На первый взгляд кажется, что схему рис. 26 осуществить легче. Однако в действительности это не так. Ведь в этом случае выходной трансформатор должен пропускать широкую полосу частот (не уже, чем 80—10 000 *гц*), но для этого необходимо, чтобы индуктивность его первичной обмотки была по возможности большой, а индуктивность рассеяния — минимальной. Совместить эти противоречивые требования весьма трудно, ибо для этого потребуется применить значительных размеров сердечник, а также чередование обмоток. Помимо этого, расчет, конструирование и изготовление широкополосного выходного трансформатора, предназначенного питать различные группы громкоговорителей, значительно труднее и под силу только опытному радиолюбителю, хорошо знакомому с радиотехникой.

Другое дело, когда в оконечном каскаде усилителя низкой частоты имеются два самостоятельных выходных трансформатора. Тогда один из них, питающий основной громкоговоритель нижних частот, должен пропускать только ниж-

ние и средние частоты (от 60—80 до 3 000—5 000 *гц*), а другой — только верхние частоты (от 1 000—2 000 до 10 000—12 000 *гц*). Первый выходной трансформатор по своим параметрам, размерам и конструкции мало чем отличается от обычного выходного трансформатора, применяемого в приемниках с простой акустической системой. Второй выходной трансформатор для громкоговорителей верхних частот дол-

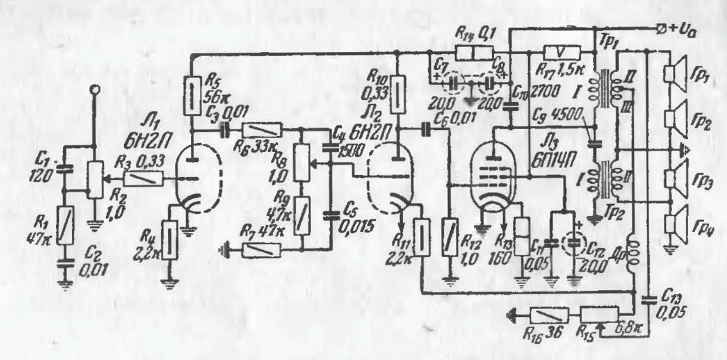


Рис. 27. Схема низкочастотного тракта с одиотактным выходным каскадом унифицированных отечественных приемников с акустической системой объемного звучания.

Трансформатор Tp_1 может быть собран на сердечнике из пластин УШ-16 при толщине пакета 24 *мм*. Обмотка *I* состоит из 2 600 витков провода ПЭЛ 0,12, обмотка *II* — из 90 и обмотка *III* — из трех витков ПЭЛ 0,64.

Трансформатор Tp_2 может быть собран из пластин УШ-9 при толщине пакета 12 *мм*. Обмотка *I* состоит из 2 000 витков провода ПЭЛ 0,12, а обмотка *II*—из 28 витков ПЭЛ 0,51.

Дроссель *Др* индуктивностью 40 *мгн* намотан на каркасе диаметром 8 *мм* и содержит 2 900 витков провода ПЭЛ 0,12 (сопротивление обмотки постоянному току 165 ± 15 *ом*).

жен пропускать только верхние частоты и поэтому может иметь небольшую индуктивность первичной обмотки. Если такой трансформатор намотать, например, на стальном сердечнике из пластин типа УШ-12, то количество витков в его первичной обмотке будет невелико и принимать какие-либо специальные меры для уменьшения индуктивности рассеяния не потребуется.

Мы остановились столь подробно на схеме усилителя низкой частоты с двумя выходными трансформаторами еще и потому, что в своей практической деятельности радиолюбителю приходится иметь дело почти исключительно с электродинамическими громкоговорителями. В этом случае лучших результатов и более простым способом можно добиться

лишь при схеме низкочастотного тракта, показанной на рис. 25, которая, кроме всего прочего, позволяет легко подобрать частоту разделения каналов путем изменения емкости разделительного конденсатора выходного трансформатора.

В выходном каскаде большинства отечественных приемников с акустической системой объемного звучания применяются два выходных трансформатора. Одна из таких схем приведена на рис. 27. Она рассчитана на использование четырех электродинамических громкоговорителей. Два из

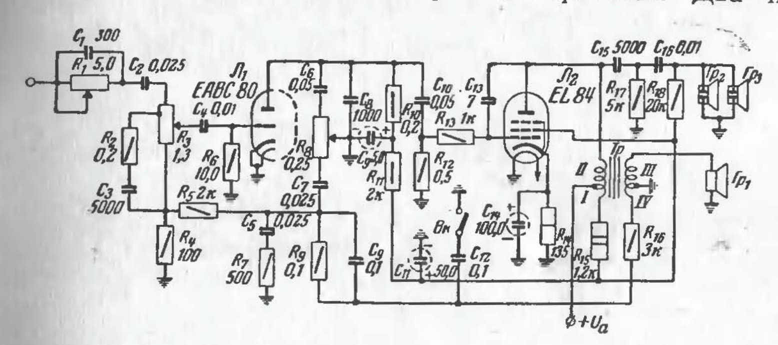


Рис. 28. Схема простого усилителя низкой частоты с однотактным выходным каскадом для акустической системы объемного звучания, состоящей из трех громкоговорителей.

них—основные типа 2ГД-3—расположены на отражательной доске и питаются от выходного трансформатора Tp_1. Дополнительные громкоговорители верхних частот, в качестве которых применены овальные громкоговорители типа 1ГД-9, установлены на боковых стенках футляра и питаются от выходного трансформатора Tp_2, соединенного с анодом оконечной лампы через конденсатор небольшой емкости C_9. Усилитель имеет раздельную регулировку тембра нижних (R_8) и верхних (R_{15}) звуковых частот и охвачен отрицательной обратной связью, которая подается с отвода вторичной обмотки выходного трансформатора на катод правого триода лампы $Л_1$ типа 6Н2П.

Как указывалось выше, иностранные фирмы широко используют в акустических системах приемников среднего класса с объемным звучанием пьезоэлектрические и электростатические громкоговорители верхних частот. Объясняется это тем, что, например, пьезоэлектрические громкоговорители намного проще и дешевле электродинамических, а для включения их не требуется выходного трансформатора. Следовательно, приемник с такими громкоговорителями так-

же будет проще и дешевле в изготовлении. На рис. 28 показана схема усилителя низкой частоты, где в качестве громкоговорителей верхних частот использованы электростатические громкоговорители $Гр_2$ и $Гр_3$. Они подключены к аноду оконечной лампы через фильтр $R_{17}C_{15}$, который задерживает частоты, лежащие ниже граничной.

Еще более равномерное излучение всей полосы воспроизводимых приемником частот и расширение диаграммы на-

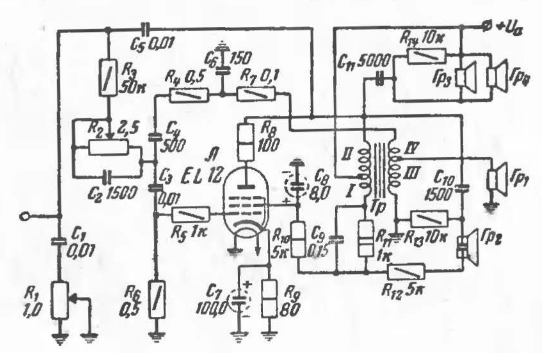


Рис. 29. Схема однотактного оконечного каскада для приемника с акустической системой объемного звучания, в которой использованы электродинамический, пьезоэлектрические и электростатический громкоговорители.

правленности излучения, а вместе с этим и резкое улучшение качества звучания получаются, когда диапазон частот усилителя разбит на три канала, а акустическая система имеет три группы громкоговорителей. Естественно, что при этом наиболее простое схемное и конструктивное решение низкочастотного тракта опять-таки получается при использовании электростатических и пьезоэлектрических громкоговорителей.

Наглядным примером этого может служить схема оконечного каскада, показанная на рис. 29. Здесь основной электродинамический громкоговоритель $Гр_1$, воспроизводящий нижние и средние частоты, установлен на передней стенке футляра и связан с оконечной лампой через выходной трансформатор *Тр*. Рядом с ним помещен электростатический громкоговоритель $Гр_2$, который подключен к аноду оконечной лампы через фильтр $R_{13}C_{10}$. Благодаря этому он воспроизводит лишь средние и верхние частоты. На боковых стенках футляра установлены пьезоэлектрические громкоговорители верхних частот $Гр_3$ и $Гр_4$, присоединенные к око-

нечной лампе через фильтр $R_{14}C_{11}$. Регуляторы тембра верхних (R_1) и нижних (R_2) частот помещены на входе оконечного каскада и позволяют лишь заваливать частотную характеристику. Необходимый подъем ее создается двумя цепями отрицательной обратной связи, напряжение одной

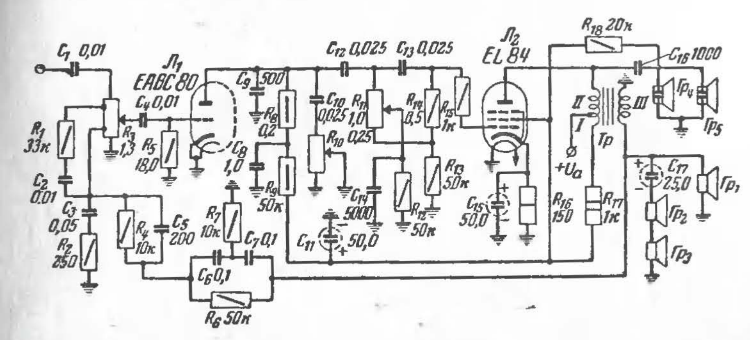


Рис. 30. Схема однотактного усилителя низкой частоты для приемника с акустической системой объемного звучания, состоящей из пяти громкоговорителей.

из которых снимается с анода оконечной лампы, а другой — со вторичной обмотки выходного трансформатора.

Другая схема усилителя низкой частоты, где также использованы три группы громкоговорителей, приведена на рис. 30. В этой схеме основной громкоговоритель $Гр_1$ подключен непосредственно к выводам вторичной обмотки выходного трансформатора *Тр*, а громкоговорители средних частот — к той же обмотке, но через конденсатор большой емкости C_{17}. Электростатические громкоговорители верхних частот $Гр_4$ и $Гр_5$ соединены с анодом оконечной лампы через фильтр $R_{18}C_{16}$, задерживающий нижние и средние частоты. Одновременно через сопротивление R_{18} на громкоговорители подается постоянное напряжение, необходимое для создания электростатического поля.

УСИЛИТЕЛИ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ С ДВУХТАКТНЫМ ВЫХОДНЫМ КАСКАДОМ

Основное требование, предъявляемое к усилителям низкой частоты приемников с объемным звучанием, схемы которых были показаны выше, — это пропускание широкой полосы частот. Поэтому такой важный для высококачественного звучания параметр, как коэффициент нелинейных искажений, оказывается в них довольно большим (обычно

порядка 7—10%). Стремясь снизить нелинейные искажения и тем повысить качество звучания, иностранные фирмы вводят в некоторые приемники среднего класса и приемники высшего класса усилители низкой частоты, оконечный каскад которых собран по двухтактной схеме. В отечественных

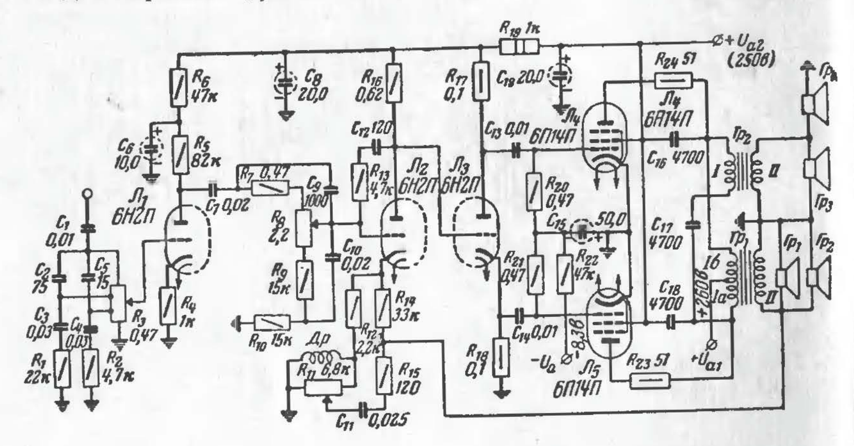


Рис. 31. Схема низкочастотного тракта с двухтактным выходным каскадом унифицированных отечественных приемников с акустической системой объемного звучания.

Трансформатор $Тр_1$ может быть собран на сердечнике из пластин УШ-19 при толщине пакета 28 *мм*. Обмотка *I* состоит из 1 140+1 140 витков провода ПЭЛ 0,15, а обмотка *II* — из 70+70 витков ПЭЛ 0,38. Трансформатор $Тр_2$ может быть собран из пластин УШ-9 при толщине пакета 12 *мм*. Обмотка *I* состоит из 2 000 витков провода ПЭЛ 0,12, а обмотка *II* — из 35 витков ПЭЛ 0,51.

Дроссель *Др* индуктивностью 40 *мгн* намотан на каркасе диаметром 8 *мм* и содержит 2 900 витков провода ПЭЛ 0,12 (сопротивление обмотки постоянному току 165±150 *ом*).

приемниках первого класса также используется двухтактная схема оконечного каскада.

На рис. 31 приведена схема усилителя низкой частоты радиолы первого класса «Дружба», где в акустической системе объемного звучания применены четыре овальных электродинамических громкоговорителя. Основные громкоговорители $Гр_1$ и $Гр_2$ типа 5ГД-14 установлены на отражательной доске и питаются от вторичной обмотки выходного трансформатора $Тр_1$, первичная обмотка которого непосредственно соединена с анодами оконечных ламп. В качестве дополнительных громкоговорителей верхних частот, расположенных на боковых стенках футляра, использованы

громкоговорители $Гр_3$ и $Гр_4$ типа 1ГД-9. Они питаются от своего выходного трансформатора $Тр_2$, который соединен с анодами оконечных ламп через конденсатор небольшой емкости C_{17}.

Представляет интерес и схема двухтактного оконечного каскада с одним выходным трансформатором, приведенная на рис. 32. Интересная особенность этого усилителя — при-

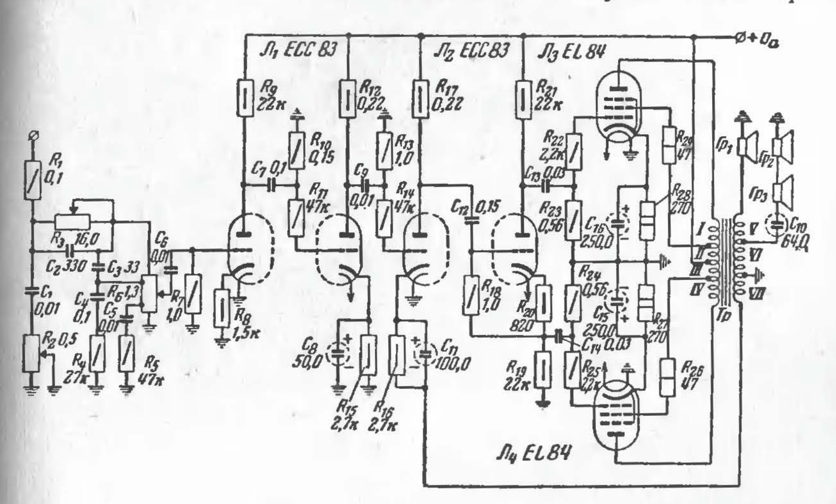


Рис. 32. Схема усилителя с двухтактным выходным каскадом, в котором оконечный каскад собран по ультралинейной схеме.

менение в оконечном каскаде так называемой «ультралинейной» схемы. Напряжение на экранирующие сетки оконечных ламп здесь снимается не с выпрямителя, как это имеет место в обычных усилителях, а с части витков первичной обмотки выходного трансформатора. В результате лампа работает в режиме, промежуточном между пентодным и триодным. Подобное включение эквивалентно введению в оконечный каскад отрицательной обратной связи, что резко снижает нелинейные искажения. Одновременно уменьшается выходная мощность и снижается сопротивление нагрузки. Правильным подбором отвода от первичной обмотки выходного трансформатора можно добиться значительного снижения коэффициента нелинейных искажений при небольшом уменьшении выходной мощности. Обычно отвод к экранирующей сетке делают от 25—45% числа витков первичной обмотки, считая от вывода, соединенного с выпрямителем.

Особенность другого усилителя низкой частоты с двух-

тактным оконечным каскадом (рис. 33) — отсутствие фазопереворачивающего каскада. Здесь обе оконечные лампы $Л_2$ и $Л_3$ имеют общее катодное сопротивление R_5, один конец которого соединен с катодами ламп, а другой—со средней точкой вторичной обмотки выходного трансформатора. Управляющая сетка лампы $Л_3$ соединена с шасси через сопротивление R_{16}. Таким образом, лампа $Л_3$ включена по

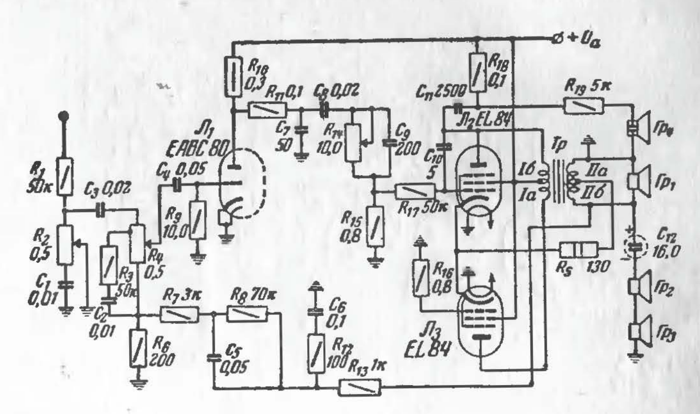


Рис. 33. Схема низкочастотного тракта с двухтактным выходным каскадом и без фазопереворачивающего каскада.

схеме с заземленной сеткой. Работает оконечный каскад так: напряжение возбуждения, усиленное лампой $Л_1$, подается на сетку лампы $Л_2$. Связь между оконечными лампами осуществляется через общее сопротивление R_5. Благодаря этому потенциал катодов обеих ламп изменяется пропорционально изменению напряжения на сетке лампы $Л_2$, вызываемому приходящим сигналом. Но управляющая сетка лампы $Л_3$ заземлена и ее потенциал не изменяется. Вследствие этого между сеткой и катодом этой лампы действует переменное напряжение сигнала, близкое по амплитуде к напряжению сигнала, приложенному между сеткой и катодом лампы $Л_2$. Например, если в какой-то момент времени потенциал управляющей сетки лампы $Л_2$ и катодов обеих ламп будет относительно шасси положительным, то потенциал управляющей сетки лампы $Л_3$ относительно ее катода будет отрицательным. Таким образом, переменные напряжения на управляющих сетках оконечных ламп $Л_2$ и $Л_3$ относительно их катодов будут противоположны по фазе, что и требуется для нормальной работы двухтактного оконечного каскада.

Следует отметить и то, что вследствие включения лампы $Л_3$ по схеме с заземленной сеткой и соединения ее управляющей сетки с общим минусом через сопротивление R_{16} значительной величины весьма сказывается и емкость анод—сетка лампы $Л_3$, которая вызывает отрицательную обратную связь. Для выравнивания несимметрии, могущей

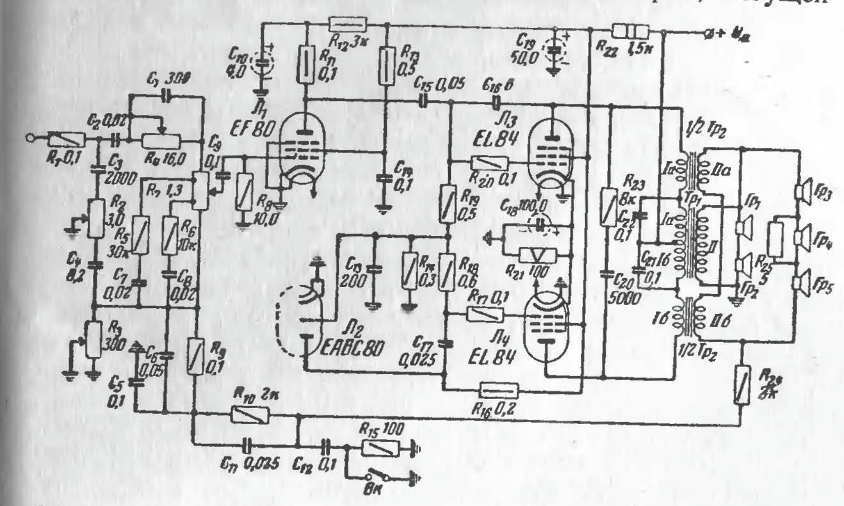


Рис. 34. Схема усилителя с двухтактным оконечным каскадом, в котором два выходных трансформатора включены последовательно.

из-за этого возникнуть в оконечном каскаде, между сеткой и анодом лампы $Л_2$ включен конденсатор C_{10}, емкость которого подбирается для данного типа ламп.

Определенный интерес для радиолюбителей может представить схема усилителя низкой частоты, приведенная на рис. 34. Здесь для некоторого снижения интермодуляционных искажений разделение полосы воспроизводимых приемником частот на каналы производится в анодной цепи оконечных ламп. Между их анодами включены два выходных трансформатора: $Тр_1$ и $Тр_2$, первичные и вторичные обмотки которых соединены последовательно. В отличие от предыдущих схем (например, рис. 31) при таком включении выходных трансформаторов полностью сохраняются преимущества двухтактного оконечного каскада для обеих групп громкоговорителей.

Выходной трансформатор $Тр_1$ предназначен для питания громкоговорителей нижних частот $Гр_1$ и $Гр_2$. Чтобы не пропускать к ним частоты, превышающие граничную, его пер-

вичная обмотка шунтирована конденсаторами C_{21} и C_{22}. Индуктивность первичной обмотки выходного трансформатора, к которому подключены громкоговорители верхних частот $Гр_3$, $Гр_4$ и $Гр_5$, сделана небольшой, вследствие чего он нижних частот не пропускает.

Благодаря последовательному соединению вторичных обмоток выходных трансформаторов снимаемое с них напряжение отрицательной обратной связи значительно выше, чем при обычной схеме включения выходных трансформаторов. Цепь отрицательной обратной связи охватывает весь низкочастотный тракт приемника и является частотно-зависимой. Сопротивления R_{10}, R_{24} и конденсатор C_5 способствуют подъему верхних звуковых частот, а сложная цепь, включающая в себя конденсатор C_6, сопротивления R_9, R_3 и RC-цепочки регулятора громкости, — увеличению усиления на нижних частотах. Дополнительно включенная цепочка $R_{15}C_{12}$ при разомкнутом выключателе *Вк* обеспечивает подъем частотной характеристики на частоте 5 000 *гц*, выравнивая тем самым частотную характеристику громкоговорителей. При замыкании выключателя *Вк* происходит завал частотной характеристики усилителя на частотах свыше 7 000—8 000 *гц*, что необходимо при приеме радиостанций с амплитудной модуляцией и проигрывании граммофонных пластинок. Конденсатор C_{11} ослабляет частоты выше 13 000—15 000 *гц* и этим заметно снижает уровень шумов, особенно находящихся за пределами порога слышимости.

Другой особенностью схемы усилителя низкой частоты, приведенной на рис. 34, является введение дополнительного регулятора R_3, включенного в цепь отрицательной обратной связи и названного «регулятором объемного звучания». При изменении величины реостата R_3 изменяется и действие частотно-зависимой отрицательной обратной связи. Влияние этого регулятора проявляется в основном на верхних частотах таким образом, что при изменении его величины ослабляется или усиливается уровень этих частот по отношению к уровню средних частот. Так как степень проявления объемности звучания приемника зависит от воспроизведения верхних частот, изменением положения движка реостата R_3 можно регулировать и объемность звучания. Помимо этого, регуляторы тембра нижних (R_4) и верхних (R_2) частот установлены на входе низкочастотного тракта. Такое размещение их позволяет наиболее полно удовлетворить условию соответствия кривым равной громкости при регулировании уровня воспроизведения.

ДВУХКАНАЛЬНЫЕ УСИЛИТЕЛИ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ

Еще лучшие результаты можно получить от усилителя, если разделение полосы частот, воспроизводимой приемником, сделать не на выходе низкочастотного тракта, а раньше, после каскада предварительного усиления. В этом случае усилитель низкой частоты будет иметь несколько каналов, каждый из которых будет усиливать определенную полосу частот. Обычно в радиовещательных приемниках полосу частот разделяют на два канала; такие усилители низкой частоты получили название двухканальных.

Основное преимущество двухканальных усилителей по сравнению с одноканальными — минимальные интермодуляционные искажения. Помимо этого, имея раздельные оконечные каскады для нижних и верхних частот, удается добиться лучшего согласования акустической системы с электрическим трактом путем введения в каждый канал своей частотно-зависимой отрицательной обратной связи и использования раздельных выходных трансформаторов, рассчитанных на пропускание соответствующей полосы частот. Следует отметить и то обстоятельство, что в двухканальных усилителях применяются почти исключительно электродинамические громкоговорители. Поэтому низкочастотный тракт, собранный по такой схеме, применяется в дорогих приемниках среднего и высшего классов. Двухканальные усилители с успехом могут быть использованы и радиолюбителями.

Одна из простых схем двухканального усилителя низкой частоты приведена на рис. 35. Здесь первые два каскада,

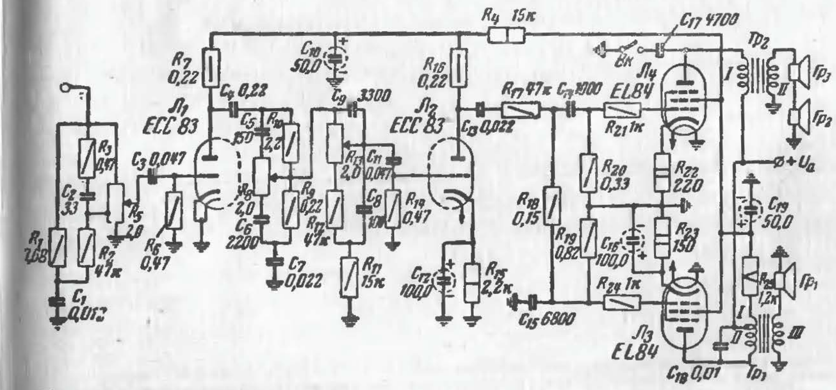


Рис. 35. Схема простого двухканального усилителя с однотактными выходными каскадами и без отрицательной обратной связи.

работающие на сдвоенном триоде типа ЕСС 83, усиливают весь диапазон звуковых частот. Между первым и вторым каскадами предварительного усиления помещены регуляторы тембра нижних (R_{13}) и верхних (R_8) частот. Сопротивлениями R_9, R_{10} и конденсатора C_7 устанавливаются уровень средних частот и максимальный подъем нижних частот. После регулятора верхних частот звуковое напряжение попадает на делитель напряжения R_9R_{10}, а с него — на регулятор нижних частот.

Разделение спектра звуковых частот на каналы производится после второго каскада усиления низкой частоты. Верхние звуковые частоты проходят через фильтр $R_{20}C_{14}$ на управляющую сетку одной из оконечных ламп ($Л_4$ типа EL84), в анодную цепь которой включен выходной трансформатор $Тр_2$, питающий громкоговорители верхних частот $Гр_2$ и $Гр_3$. Нижние звуковые частоты выделяются фильтром $R_{18}C_{15}$ и подводятся к управляющей сетке второй оконечной лампы ($Л_3$) также типа EL84. В ее анодную цепь включен другой выходной трансформатор — $Тр_1$, ко вторичной обмотке которого присоединен громкоговоритель нижних частот $Гр_1$.

Разделение полосы частот на каналы производится на частоте 800 *гц*. Эта частота, определенная на основании многочисленных экспериментов, выбрана в качестве граничной потому, что в этом случае интермодуляционные искажения получаются минимальными. Элементы оконечных каскадов подобраны таким образом, чтобы звуковые частоты, выходящие за границу канала, резко ослаблялись. Это также снижает как интермодуляционные, так и нелинейные искажения.

При приеме радиостанций, работающих с амплитудной модуляцией, и проигрывании граммофонных пластинок в анодную цепь оконечной лампы канала верхних звуковых частот включается конденсатор C_{17}, сужающий диапазон воспроизводимых частот до 5 000—6 000 *гц*.

Следует обратить внимание и на хорошую фильтрацию анодного напряжения. Для этой цели в фильтре выпрямителя применены электролитические конденсаторы большой емкости (по 50 *мкф*), а напряжение анодного питания лампы предварительного усиления низкой частоты фильтруется трижды.

Другой усилитель, собранный по двухканальной схеме, показан на рис. 36. Он имеет три каскада предварительного усиления низкой частоты, причем последние два, работаю-

щие на сдвоенном триоде типа ЕСС 81, охвачены отрицательной обратной связью по току.

Регулятор тембра верхних частот R_7 помещен между первым и вторым каскадами предварительного усиления низкой частоты, а регулятор тембра нижних частот R_{13} — между вторым и третьим каскадами. Разделение полосы частот на каналы производится после третьего каскада. Нижние частоты проходят через фильтр $R_{18}C_{15}$ на управляющую сетку лампы $Л_4$, питающую громкоговорители ниж-

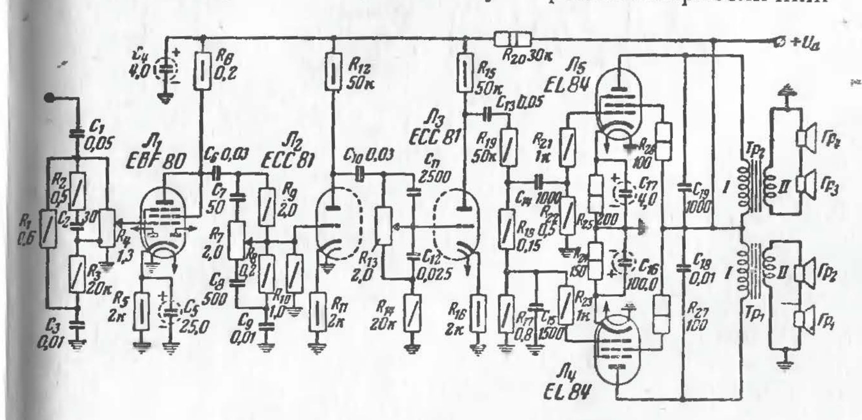


Рис. 36. Схема двухканального усилителя с однотактными выходными каскадами и регуляторами тембра, включенными в цепи усиления сигнала.

них частот $Гр_1$ и $Гр_2$. Верхние частоты подводятся к управляющей сетке лампы $Л_5$ через фильтр $R_{22}C_{14}$. В анодной цепи этой лампы включены громкоговорители верхних частот $Гр_3$ и $Гр_4$. Оба оконечных каскада охвачены отрицательной обратной связью, получающейся благодаря отсутствию конденсаторов в цепях экранирующих сеток ламп $Л_4$ и $Л_5$. Помимо этого, первичная обмотка каждого из выходных трансформаторов заблокирована конденсатором, ограничивающим верхний предел частотной характеристики канала.

Приведенные схемы двухканальных усилителей низкой частоты хотя и значительно превосходят по своим электроакустическим параметрам одноканальные, все же коэффициент нелинейных искажений на нижних частотах в них соизмерим с искажениями в одноканальных усилителях. Значительно снизить нелинейные искажения на нижних частотах можно лишь в том случае, если этот канал выпол-

нить по двухтактной схеме. Одна из таких схем двухканального усилителя приведена на рис. 37.

В этой схеме первые два предварительных каскада усиливают весь спектр звуковых частот. Разделение на каналы производится после второго каскада. Нижние частоты через сложный *RC*-фильтр подводятся к фазопереворачивающему каскаду (лампе $Л_3$), в качестве которого работает один из

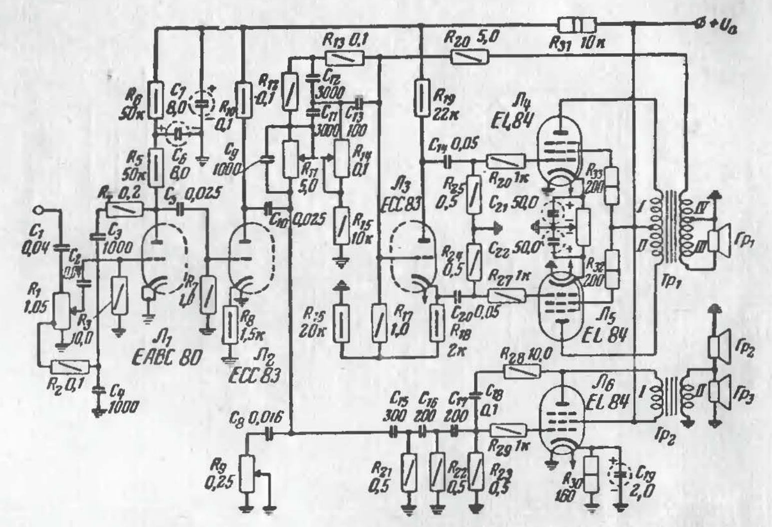


Рис. 37. Схема двухканального усилителя, где выходной каскад канала нижних частот собран по двухтактной схеме.

триодов лампы типа ECC83. Оконечный каскад этого канала собран на двух лампах: $Л_4$ и $Л_5$ типа EL84 и охвачен отрицательной обратной связью, получающейся благодаря отсутствию блокировочных конденсаторов в цепях экранирующих сеток оконечных ламп. Регулятор тембра нижних частот ($R_{11}R_{14}$) помещен на входе канала и одновременно находится в цепи отрицательной обратной связи, охватывающей весь канал (она подается со специальной обмотки *IV* выходного трансформатора $Тр_1$ и подводится через сопротивление R_{20}). Балансировка оконечного двухтактного каскада осуществляется потенциометром R_{31}.

В канале верхних частот работает лишь одна оконечная лампа $Л_6$ типа EL84. Напряжение возбуждения подается на ее управляющую сетку через *RC*-фильтр, состоящий из сопротивлений R_{21}, R_{22} и R_{23} и конденсаторов C_{15}, C_{16} и C_{17}. Регулятор тембра верхних частот R_9 также включен на

входе канала и может только ослаблять усиление этих частот. Подъем их получается благодаря наличию отрицательной обратной связи, напряжение которой снимается с анода оконечной лампы $Л_6$ и через сопротивление R_{28} и конденсатор C_{18} подводится к управляющей сетке этой же лампы.

Следует отметить и интересную схему тонкомпенсации при регулировании громкости. Здесь, помимо обычного фильтра R_2C_4, подключаемого к отводу от регулятора громкости, введена отрицательная обратная связь, охватывающая первый каскад усилителя. Эта обратная связь создается путем подачи напряжения из анодной цепи лампы $Л_1$ через сопротивление R_4 и конденсатор C_3 и далее через сопротивление R_2, регулятор громкости R_1 и конденсатор C_2 на управляющую сетку этой же лампы. Элементы схемы подобраны таким образом, что при малых уровнях сигнала, подводимого к управляющей сетке лампы $Л_1$, фильтр R_2C_4 повышает уровень нижних частот, а отрицательная обратная связь — верхних. Такое регулирование громкости наиболее полно обеспечивает соответствие кривым равной громкости при простой конструкции потенциометра.

Образцом тщательного конструирования высококачественного малолампового низкочастотного тракта для приемника высшего класса может служить схема двухканального усилителя низкой частоты, приведенная на рис. 38. В данном усилителе первый каскад, работающий на триодной части комбинированной лампы $Л_1$ типа EABC80, усиливает весь спектр звуковых частот. Разделение на каналы происходит на выходе этого каскада.

Канал верхних частот состоит из одной оконечной лампы $Л_2$. На входе этого канала помещен фильтр R_8C_4, задерживающий нижние частоты. Оконечный каскад, в котором использована пентодная часть комбинированной лампы типа PCL81, охвачен отрицательной обратной связью по напряжению, создающей подъем частотной характеристики в области верхних частот. Нижние и средние частоты ответвляются в другой канал благодаря действию фильтра R_7C_7. Этот канал построен по двухтактной ультралинейной схеме с самобалансирующимся фазопереворачивающим каскадом, работающим на триодной части лампы PCL81. Применение двухтактной ультралинейной схемы и отрицательной обратной связи по напряжению, охватывающей весь канал, обеспечивает минимальные нелинейные искажения и тем резко повышает качество звучания приемника.

Регулятор тембра нижних частот R_{11} помещен в цепи

отрицательной обратной связи канала нижних частот. Он позволяет как ослабить, так и увеличить усиление на этих частотах по отношению к усилению на средних частотах.

Отличительной особенностью этого усилителя является наличие клавиши объемного звучания. При ее включении контакты $Вк_2$, $Вк_4$ и $Вк_6$ замыкаются и низкочастотный тракт работает как двухканальный усилитель. Однако при прослушивании речевых передач объемность в звучании оказы-

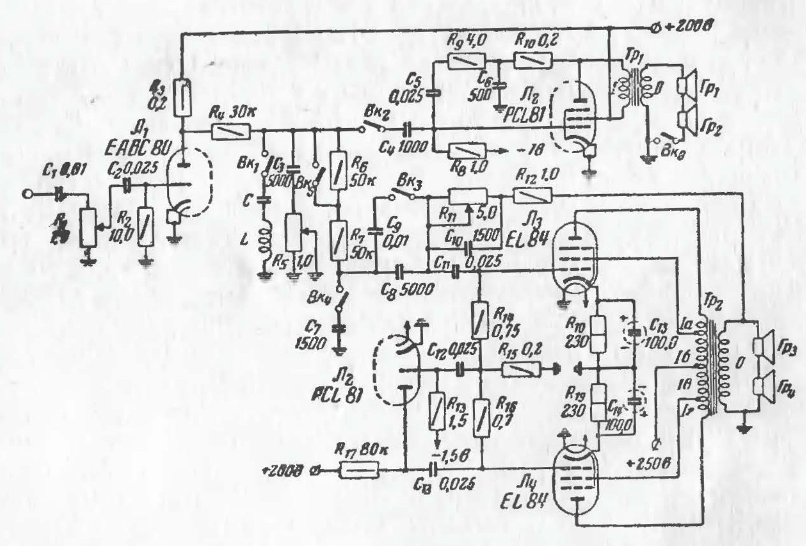


Рис. 38. Схема простого двухканального усилителя с двухтактным выходным каскадом канала нижних частот и выключателем объемного звучания.

вается вредной. Объясняется это тем, что при передаче речи источник звука имеет определенное направление. Поэтому, чтобы не исказить звучания, во время речевых передач весь канал верхних звуковых частот, а следовательно, и громкоговорители, создающие эффект объемности, отключаются. При этом одновременно замыкаются контакты $Вк_5$, что приводит к увеличению напряжения на входе канала нижних и средних частот. Кроме этого, включением клавиши $Вк_3$ («Речь») можно ослабить и усиление на нижних частотах.

В месте разветвления каналов установлены регулятор R_5 тембра верхних частот и *LC*-фильтр, настроенный на частоту 9 000 *гц*. Он включается клавишей $Вк_1$ при приеме радиостанций, работающих с амплитудной модуляцией, и про-

игрывании граммофонных пластинок. Такое размещение регулятора тембра и *LC*-фильтра позволяет пользоваться ими и при отключенном канале верхних частот.

Все это позволило создать в приемнике низкочастотный тракт, действительно обеспечивающий высококачественное воспроизведение разнообразных программ.

Следует отметить, что в дальнейшем в двухканальных усилителях стали применять более сложные схемы разделе-

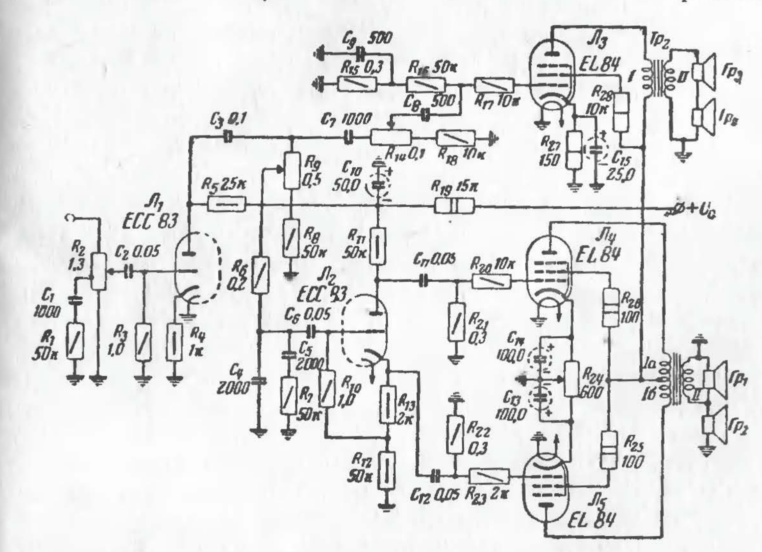


Рис. 39. Схема двухканального усилителя с двухтактным оконечным каскадом канала нижних частот и регуляторами тембра, включенными как регуляторы усиления соответствующих каналов.

ния полосы частот на каналы. Это позволило упростить регуляторы тембра, роль которых стали выполнять регуляторы усиления соответствующих каналов. Такой весьма простой способ регулирования тембра, осуществимый только в двухканальных усилителях низкой частоты, обеспечивает изменение частотной характеристики усилителя в широких пределах.

На рис. 39 показана схема двухканального усилителя с регуляторами тембра, включенными как регуляторы усиления соответствующих каналов. В нем первый каскад, работающий на одном из триодов лампы $Л_1$ типа ECC83, усиливает весь спектр звуковых частот. Разделение на каналы происходит после первого каскада. Верхние частоты

через конденсаторы C_3 и C_7 поступают на потенциометр R_{14}, который выполняет функцию регулятора тембра верхних частот. С движка этого потенциометра они подводятся к оконечной лампе $Л_3$, усиливаются ею и воспроизводятся громкоговорителями $Гр_3$ и $Гр_4$. В цепь управляющей сетки оконечной лампы данного канала включен сложный RC-фильтр верхних частот, состоящий из сопротивлений R_{14}, R_{18}, R_{15} и R_{16} и конденсаторов C_7, C_8 и C_9.

Канал нижних частот имеет двухтактный оконечный каскад. В качестве фазопереворачивающего каскада здесь работает второй триод лампы $Л_2$ типа ЕСС83. Нижние частоты с потенциометра R_9, регулирующего усиление этого канала, поступают на сетку лампы $Л_2$ через RC-фильтр нижних частот, состоящий из сопротивления R_6 и конденсатора C_4.

Интересной особенностью этого усилителя является то, что каждый каскад в нем имеет свою отрицательную обратную связь. В оконечных каскадах отрицательная обратная связь создается благодаря включению в цепи экранирующих сеток оконечных ламп $Л_3$, $Л_4$ и $Л_5$ сопротивлений, а в предварительном и фазопереворачивающем — благодаря отсутствию конденсаторов, блокирующих сопротивления смещения.

Сопротивления R_8 и R_{18}, включенные последовательно с потенциометрами регуляторов тембра, нужны для того, чтобы не получалось полного ослабления соответствующих частот звукового диапазона. Подбором величин этих сопротивлений можно изменять пределы регулирования тембра и тем самым подбирать характеристику каждого канала.

НОВОЕ В СХЕМАХ УСИЛИТЕЛЕЙ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ

Стремление еще полнее удовлетворить запросы покупателей, относящиеся к качеству звучания приемников и повышению их эксплуатационных возможностей, заставило конструкторов многих зарубежных фирм модернизировать известные схемы усилителей низкой частоты и создавать новые, которые по своим показателям превосходили бы применяющиеся в настоящее время. В результате были разработаны схемы усилителей низкой частоты, позволяющие получить эффект стереофоничности звучания, оконечный каскад без выходного трансформатора и тон-регистры. Рассмотренные выше системы позволяют создавать впечатление объемности звучания, при котором источник звука кажется шире, чем сам приемник. Однако для получения наиболее естествен-

ного воспроизведения этого оказывается недостаточно, ведь желательно не только расширить диаграмму направленности излучения, но и дать возможность слушателю локализовать каждый звук. В естественных условиях слушатель всегда может определить направление на источник звука благодаря тому, что звук в различные моменты времени подходит к обоим ушам с разными громкостью и фазой.

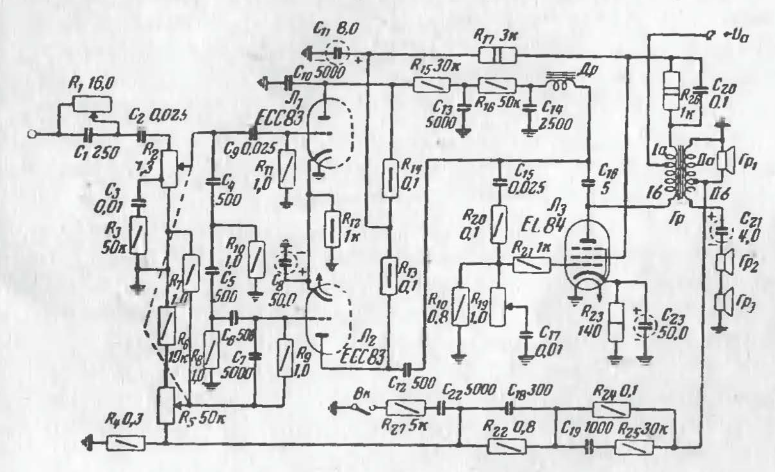


Рис. 40. Схема простого усилителя низкой частоты, дающего эффект псевдостереофонического звучания.

Чтобы получить стереофоническое звучание при обычной схеме радиоприемного устройства, необходимо передачу транслировать минимум через две радиостанции, а в приемном аппарате иметь два канала, т. е. два приемника. Но оказалось, что существует и другой путь. В результате многочисленных экспериментов удалось создать схему такого усилителя низкой частоты, который позволил получить искусственным путем при обычной радиопередаче эффект стереофоничности звучания. В этой схеме (рис. 40) эффект псевдостереофонического звучания достигается путем разделения полосы воспроизводимых частот на каналы и сдвигом фазы в одном из них (нижнечастотном).

Разделение тракта низкой частоты на каналы производится сразу после регулятора громкости R_2. Верхние частоты через фильтр верхних частот $R_8R_{10}C_4C_5$ подводятся к управляющей сетке триода $Л_2$, усиливаются им и поступают к управляющей сетке оконечной лампы $Л_3$ через конденсатор C_{12}. Нижние частоты усиливаются триодом $Л_1$ и через

тщательно рассчитанную цепочку задержки $R_{15}R_{16}C_{13}C_{14}Др$ подводятся к управляющей сетке оконечной лампы. Помимо этого, к аноду лампы $Л_1$ подключен конденсатор C_{10}, задерживающий частоты, превышающие граничную. Разделение полосы частот, подводимой к громкоговорителям нижних $Гр_1$ и верхних $Гр_2$ и $Гр_3$ частот на каналы производится с помощью конденсатора C_{21}. Таким образом, нижние звуковые частоты подводятся к оконечной лампе с задержкой во времени и также с задержкой воспроизводятся соответствующими громкоговорителями.

Канал верхних частот охвачен частотно-зависимой отрицательной обратной связью, создающей подъем частотной характеристики на верхней границе звукового диапазона. Подъем нижних частот осуществляется *RC*-цепочкой, подключенной к отводу от регулятора громкости. Регуляторы тембра верхних (R_{19}) и нижних (R_1) частот позволяют лишь ослаблять усиление на соответствующих частотах. Помимо регуляторов тембра, имеется еще и регулятор пространственного звучания — потенциометр R_5. Он механически объединен с регулятором громкости и включен в цепь отрицательной обратной связи, подключенной к каналу верхних звуковых частот, а действие его аналогично действию такого же регулятора в схеме рис. 34.

Приведенная схема усилителя низкой частоты для псевдостереофонического звучания не единична. Дальнейшие эксперименты в этой области позволили создать ряд схем низкочастотного тракта, также создающих псевдостереофонический эффект. Одна из таких наиболее простых схем приведена на рис. 41. Этот усилитель построен по двухканальной схеме, но в отличие от других двухканальных усилителей здесь оба канала усиливают весь спектр звуковых частот.

Первый канал усилителя работает на лампах типов EABC80 ($Л_1$) и EL84 ($Л_2$). Регуляторы тембра нижних (R_5) и верхних (R_1) частот расположены до регулятора громкости R_7. Оба каскада этого канала охвачены частотно-зависимой отрицательной обратной связью, в цепь которой включен регулятор пространственного звучания R_6. Выходной трансформатор первого канала $Тр_1$ имеет специальную обмотку *III* с заземленной средней точкой. Напряжение, снимаемое с этой обмотки, проходит через сопротивление R_{17} и конденсатор C_{11}, которые поворачивают фазу в зависимости от частоты. Далее, это напряжение подается на управляющую сетку первой лампы $Л_3$ второго канала. Усиленное этой лампой напряжение попадает на второй фазовращатель, состоящий из сопротивлений R_{22}, R_{23}, R_{25} и конденсаторов C_{15}, C_{16}, C_{17}, который увеличивает сдвиг фаз и опять делает его зависимым от частоты. Оконечный каскад второго канала работает на лампе $Л_4$ типа EL84 и охвачен двойной отрицательной обратной связью. Первая отрицательная обратная связь подается со вторичной обмотки выходного трансформатора $Тр_2$ на катод лампы с помощью цепи $R_{10}C_{22}C_{20}$, а вторая — с анода лампы $Л_4$ на ее управляющую сетку через конденсатор C_{19}. Вторая обратная связь очень невелика. Необходимо отметить, что для получения наиболее полного эффекта псевдостереофонического звучания частотная характеристика второго канала имеет некоторый подъем в области верхних звуковых частот.

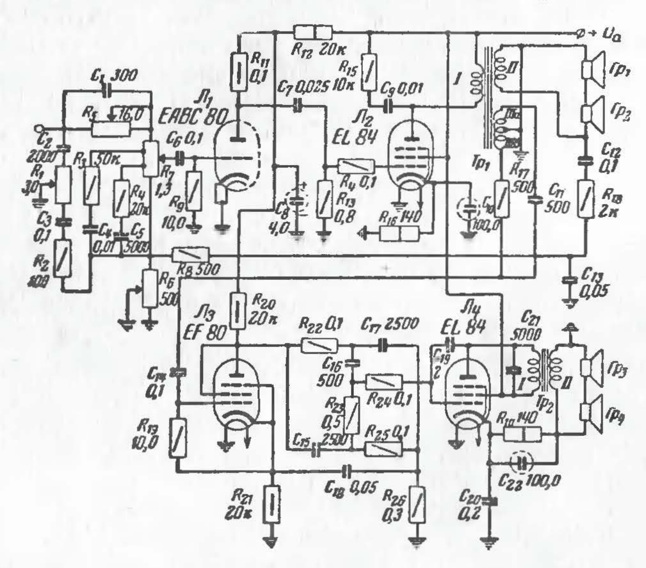


Рис. 41. Схема двухканального усилителя низкой частоты, дающего эффект псевдостереофонического звучания.

Если в предыдущей схеме сдвиг фазы осуществлялся только на нижних частотах, то в схеме рис. 41 он происходит на нижних и верхних звуковых частотах; на средних частотах фазы напряжений обоих каналов совпадают. Такая зависимость сдвига фазы от частоты приводит к более резкому выражению эффекта псевдостереофонического звучания.

Следует рассказать и об акустической системе для низ-

кочастотного тракта, схема которого приведена на рис. 41. Она состоит из четырех овальных электродинамических громкоговорителей. Два из них, $Гр_1$ и $Гр_3$, имеющие размеры по осям 210×280 *мм*, расположены на отражательной доске футляра и предназначены для воспроизведения нижних и средних частот. Два других громкоговорителя: $Гр_2$ и $Гр_4$ с осями 130×180 *мм* установлены на боковых стенках футляра и воспроизводят верхние частоты. Громкоговорители каждого канала расположены в футляре рядом (один — на отражательной доске, а другой — на боковой стенке). В некоторых моделях этого приемника параллельно громкоговорителям верхних частот включают низкочастотные дроссели, что улучшает качество воспроизведения.

Совершенно новым для радиолюбителей можно считать усилитель низкой частоты, где оконечный каскад не имеет выходного трансформатора. Применение таких схем стало возможным благодаря созданию специальных высокоомных электродинамических громкоговорителей, описание одного из которых было приведено в гл. 1.

В обычных приемниках выходной трансформатор вследствие нелинейности кривой намагничивания сердечника является дополнительным источником нелинейных искажений, ухудшающих качество звучания. Поэтому исключение выходного трансформатора улучшает качество воспроизведения не только благодаря снижению коэффициента нелинейных искажений, но и в результате расширения полосы воспроизводимых частот. Практически воспроизведение нижних частот в усилителе без выходного трансформатора ограничивается емкостями переходных конденсаторов, а верхних — диапазоном звучания громкоговорителя.

Схема низкочастотного тракта с оконечным каскадом без выходного трансформатора приведена на рис. 42. Этот усилитель собран по двухканальной схеме.

Разделение полосы частот производится после каскада предварительного усиления, работающего на триодной части лампы EABC80. Верхние частоты, выделенные фильтром $R_{11}C_{11}$, подводятся к оконечному каскаду, работающему на двух лампах. Одна из них — $Л_2$ типа EL84 — работает в качестве ведущей, а другая — $Л_3$ типа UL41 — является оконечной и включена триодом.

Напряжение возбуждения подводится к управляющей сетке ведущей лампы и усиливается ею. Часть этого напряжения снимается с сопротивления R_{23} и через сопротивление утечки сетки R_{22} подводится к управляющей сетке оконеч-

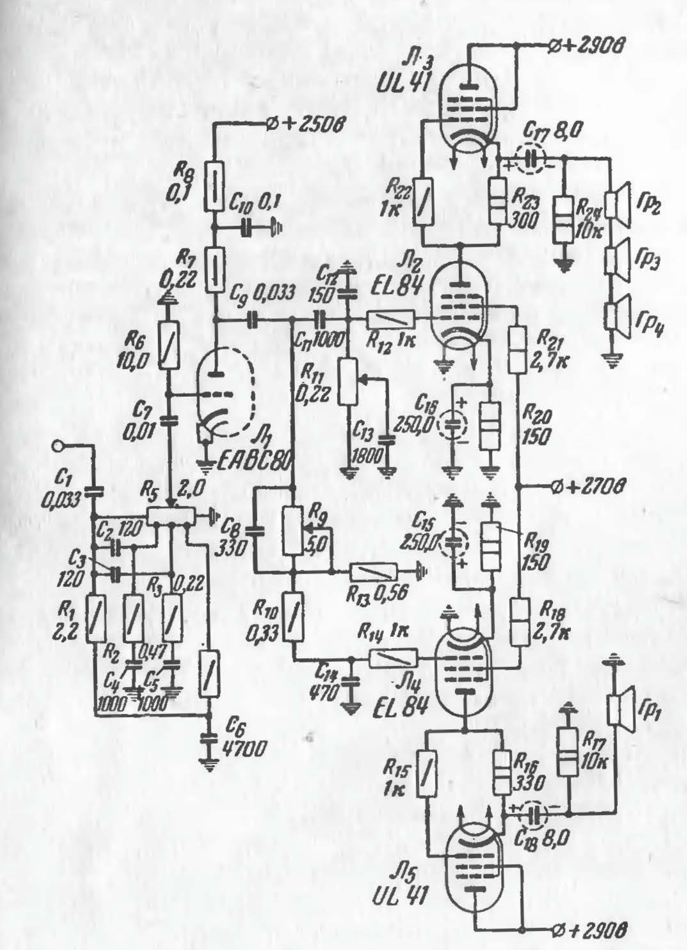


Рис. 42. Схема двухканального усилителя низкой частоты с оконечным каскадом, не имеющим выходного трансформатора.

ной лампы. Сопротивление R_{23} одновременно выполняет функцию сопротивления смещения этой лампы. Обе лампы оконечного каскада включены последовательно (по постоянному току). Следовательно, напряжение источника анодного питания распределится между ними пропорционально сопротивлению этих ламп постоянному току. В данной схеме на долю лампы EL84 приходится 100, а на долю лампы UL41 190 *в*. Громкоговорители верхних частот $Гр_2$, $Гр_3$ и $Гр_4$ подключены к катоду оконечной лампы через разделитель-

ный конденсатор C_{17} большой емкости. Таким образом, обе лампы оконечного каскада включены по переменному току параллельно и одновременно питают громкоговорители верхних частот. При этом режимы их подобраны так, что в данной схеме основную роль в питании громкоговорителей выполняет оконечная лампа $Л_3$.

Своеобразие схемы включения ламп обусловливает и оптимальное сопротивление нагрузки оконечного каскада в целом, которое при данных лампах и выбранном для них режиме питания равно 800 *ом.* Полное сопротивление звуковых катушек громкоговорителей $Гр_2$ и $Гр_4$ составляет по 200 *ом*, а громкоговорителя $Гр_3$ — 400 *ом.* Первые два установлены на боковых стенках футляра, а последний — на отражательной доске.

Канал нижних частот выполнен аналогичным образом. Нижние частоты выделяются фильтром $R_{10}C_{14}$ и подводятся к управляющей сетке ведущей лампы этого канала $Л_4$. Нагрузкой служит электродинамический громкоговоритель $Гр_1$, сопротивление звуковой катушки которого равно 800 *ом* (его описание было приведено выше).

Регуляторы тембра нижних (R_9) и верхних (R_{11}) звуковых частот помещены на входе соответствующего канала и позволяют лишь ослаблять усиление на границах частотной характеристики. Подъем ее создается во входном устройстве усилителя.

Интересная особенность этой схемы — отсутствие частотно-зависимой отрицательной обратной связи. Однако в схему ведущего каскада каждого канала введена отрицательная обратная связь, которая создается благодаря отсутствию блокировочных конденсаторов в цепях экранирующих сеток ламп EL84. Введение ее вызвано необходимостью максимально снизить коэффициент нелинейных искажений. В данной схеме он не превышает 3%.

Преимуществом оконечного каскада без выходного трансформатора, помимо малого коэффициента нелинейных искажений, является еще и то обстоятельство, что резонанс громкоговорителя на нижних частотах выражен очень слабо, а это в свою очередь благоприятно сказывается как на частотной характеристике усилителя, так и на диаграмме направленности излучения. Ослабление резонансных процессов в громкоговорителе объясняется тем, что он шунтирован низким внутренним сопротивлением оконечной лампы.

В настоящее время выпускается несколько моделей приемников различных классов с оконечным каскадом без выходного трансформатора. Для этой схемы была разработана специальная выходная лампа типа EL86. Использование ее, например, в оконечном каскаде низкочастотного тракта дешевого приемника среднего класса, схема которого приведена на рис. 43, позволило снизить напряжение анодного питания до 170 *в*. При этом анодном напряжении и выходной мощности до 2 *ва* коэффициент нелинейных

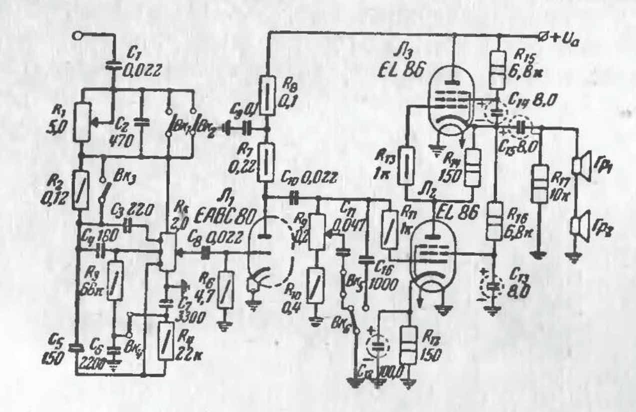


Рис. 43. Схема простого усилителя низкой частоты с оконечным каскадом без выходного трансформатора и тон-регистром.

искажений усилителя не превышает 3%. В остальном схема оконечного каскада почти ничем не отличается от предыдущей схемы. Однако отрицательная обратная связь в ведущей лампе отсутствует.

Интересная особенность этой схемы заключается еще и в том, что, помимо плавных регуляторов тембра нижних и верхних частот, введен еще дополнительный переключатель, с помощью которого можно изменять частотную характеристику усилителя и тем подбирать наиболее подходящий для данной радиопередачи тембр звучания.

Такие переключатели тембра, названные «Тон-регистром», получили в настоящее время настолько широкое распространение, что почти все западногерманские фирмы используют их в самых различных моделях. Введение тон-регистра повышает эксплуатационные качества приемника, ибо он позволяет путем нажатия на одну из его клавиш или кнопок легко и быстро установить неискушенному в музыкальном отношении радиослушателю такой тембр звучания приемника, при котором прослушиваемая передача звучит наиболее приятно. Примененная в усилителе низкой частоты

(рис. 43) схема тон-регистра — одна из наиболее простых. Она имеет всего три положения: «Речь», «Концерт» и «Джаз».

При нажатии на клавишу «Речь» контакты $Вк_1$ замыкают регулятор R_1 тембра нижних частот, а контакты $Вк_6$ выключают из схемы регулятор R_9 тембра верхних частот и вместо него включают конденсатор C_{16}, который ослабляет усиление на верхних частотах. Одновременно размыкаются контакты $Вк_4$, благодаря чему уменьшается усиление и на нижних частотах. Такое сужение полосы воспро-

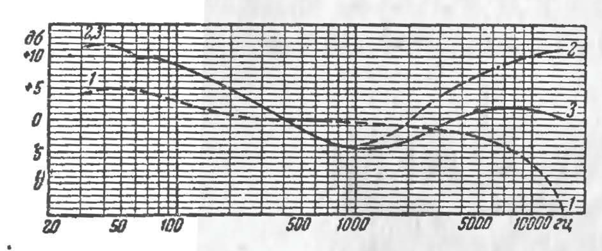


Рис. 44. Частотные характеристики усилителя низкой частоты (рис. 43) при различных положениях тон-регистра.
1 — „Речь"; 2 — „Джаз"; 3 — „Концерт".

изводимых частот благоприятно сказывается не только на тембре звучания речевых передач, но и на разборчивости речи.

В положении «Джаз» оба регулятора тембра также исключены из схемы. Одновременно благодаря замыканию сопротивления R_2 контактами $Вк_3$ верхние частоты попадают через конденсаторы C_3, C_4 и C_5 непосредственно на отводы регулятора громкости, а это в свою очередь приводит к повышению усиления на верхних частотах.

Клавиша «Концерт» контактов не имеет; она лишь возвращает в исходное положение клавиши «Речь» и «Джаз». При ее нажатии включаются оба регулятора тембра, с помощью которых радиослушатель имеет возможность подобрать наиболее приятный для него тембр звучания.

Частотные характеристики рассматриваемого усилителя низкой частоты при различных положениях тон-регистра показаны на рис. 44.

Схема другого усилителя низкой частоты, в которую также введен тон-регистр, приведена на рис. 45. В отличие от предыдущего усилителя здесь переключатель тембра имеет

пять положений: «Речь», «Оркестр», «Соло», «Джаз» и «Бас».

При нажиме кнопки «Речь» размыкаются контакты $Вк_6$, включая последовательно с разделительным конденсатором C_{15} дополнительный конденсатор C_{16}. Емкость этого конденсатора невелика, вследствие чего значительно ослабляются нижние частоты, устраняя бубнение при воспроизведении речи.

Нажатием кнопки «Соло» замыкаются контакты $Вк_1$ и $Вк_5$. Первый из них включает параллельно сопротивле-

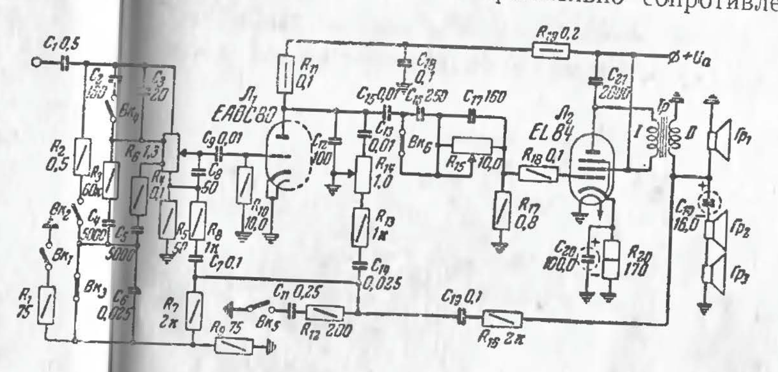


Рис. 45. Схема простого усилителя низкой частоты с тон-регистром на пять положений.

нию R_9 добавочное сопротивление R_1. При этом уменьшается глубина отрицательной обратной связи, что позволяет несколько повысить усиление на средних частотах и тем выделить солирующий инструмент или певца. Контакты $Вк_5$ включают в цепь частотно-зависимой отрицательной обратной связи дополнительный фильтр $R_{12}C_{11}$, который повышает усиление на верхних звуковых частотах. В результате при нажиме кнопки «Соло» подчеркиваются как основные тона солирующего инструмента или певца, так и их высшие гармонические составляющие, лежащие преимущественно в области средних или верхних частот.

При нажатии кнопки «Джаз» контактами $Вк_4$ производится подключение дополнительного конденсатора C_2 к верхнему отводу от регулятора громкости. Благодаря этому значительно повышается усиление на верхних частотах и частотная характеристика на этих частотах имеет ярко выраженный пик.

Кнопка «Оркестр», как и в предыдущем усилителе, кон-

5*

тактов не имеет и служит лишь для возврата в исходное положение остальных кнопок. При нажатии этой кнопки низкочастотный тракт приемника приобретает свою обычную характеристику с некоторым подъемом на нижних и верхних частотах, что обеспечивает равномерное воспроизведение всей полосы частот.

Кнопка «Бас» выполнена несколько необычно: она может включаться и выключаться независимо от положения других кнопок. Это так называемая кнопка самостоятельного действия; при первом нажатии на нее происходит включение и

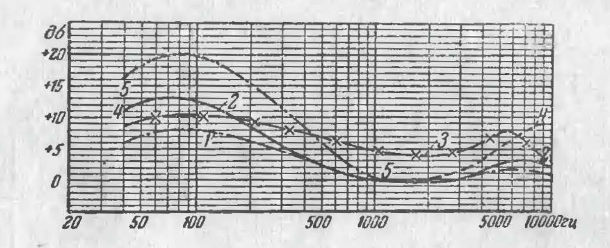


Рис. 46. Частотные характеристики усилителя низкой частоты (рис. 45) при различных положениях тон-регистра.
1 — „Речь"; 2 — „Оркестр"; 3 — „Соло"; 4 — „Джаз"; 5 — „Бас".

кнопка остается в нажатом положении, а при следующем нажатии кнопка освобождается и под действием специальной пружины возвращается в исходное положение, производя выключение. При нажиме на кнопку «Бас» контакты $Вк_2$ замыкаются, а контакты $Вк_3$ размыкаются. В этом случае резко повышается уровень нижних частот по отношению к уровню средних частот, напряжение которых подается на корректирующие фильтры R_3C_4 и R_4C_5 через сопротивление R_2. Одновременное включение конденсатора C_6 приводит к наибольшему соответствию кривым равной громкости при регулировании усиления.

Следует отметить, что для подбора наиболее подходящего тембра звучания данной программы можно включать одновременно две или несколько кнопок. В этом случае получаются 32 различных варианта изменения частотной характеристики низкочастотного тракта приемника. В дополнение к кнопкам можно использовать и регуляторы тембра нижних (R_{15}) и верхних (R_{14}) частот. В остальном рассмотренная схема особенностей не имеет. Частотные характеристики усилителя при различных положениях кнопок тон-регистра показаны на рис. 46.

Другая аналогичная схема усилителя низкой частоты с тон-регистром, примененная в недорогом приемнике среднего класса, приведена на рис. 47. Как и в предыдущем усилителе, здесь тон-регистр имеет пять кнопок, выполняющих те же функции, а частотные характеристики низкочастотного тракта почти такие же, как и усилителя низкой частоты на рис. 45. Однако в отличие от предыдущего усилителя здесь использована простая контактная система, имеющая всего по одной паре контактов. Три кнопки — $Вк_1$

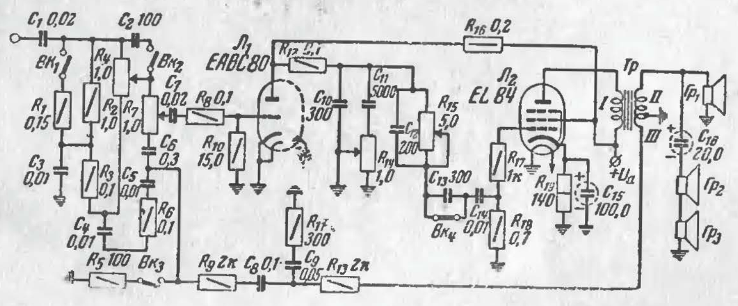


Рис. 47. Схема усилителя низкой частоты с тон-регистром, имеющим простую контактную систему.

(«Бас»), $Вк_2$ («Джаз») и $Вк_3$ («Соло») — работают на замыкание, а четвертая — $Вк_4$ («Речь») — на размыкание. Помимо этого, в схеме регулировки громкости использованы простые потенциометры R_4 и R_7, объединенные на одной оси управления. Регуляторы тембра нижних (R_{15}) и верхних (R_{14}) частот помещены между предварительным и оконечным каскадами.

В последнее время широкое распространение получило дистанционное управление приемником. В числе прочих функций, выполняемых на расстоянии, применяется и изменение частотных характеристик усилителя низкой частоты с помощью тон-регистра. Одна из таких схем выносного пульта для регулирования тембра приведена на рис. 48. С помощью этого пульта можно на расстоянии до 10 *м* регулировать громкость радиопередачи и устанавливать желаемый тембр звучания. Выносной пульт имеет пять клавиш: «Речь», «Оркестр», «Соло», «Джаз» и «3D».

При включении клавиши «Речь» переключатель $Вк_4$ переходит с контакта *1* на контакт *2*. В результате в цепь усиления включается дополнительный конденсатор C_7, благодаря чему происходит значительное ослабление усиления на нижних частотах (на частоте 100 *гц* спад достигает 8 *дб*).

Нажатием клавиши $Вк_3$ («Соло») последовательно с резонансным контуром LC_5 включается фильтр R_8C_6, что создает подъем частотной характеристики на частоте 3 000 *гц* на 8 *дб.*

Клавиша $Вк_1$ («Джаз») обеспечивает подъем частотной характеристики усилителя низкой частоты, начиная с 1 000 *гц*, и на частоте 12 000 *гц* этот подъем достигает 12 *дб.*

В замкнутом положении $Вк_2$ («Оркестр») все напряжение звуковой частоты проходит через сопротивление R_6,

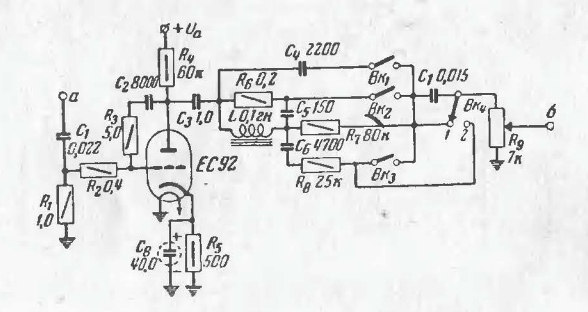


Рис. 48. Схема выносного пульта для переключения тембра на расстоянии.

параллельно которому включен последовательный резонансный контур. Благодаря этому частотная характеристика усилителя в диапазоне частот 50—10 000 *гц* практически абсолютно линейна.

Пятая клавиша предназначена для выключения боковых громкоговорителей, создающих эффект объемности звучания (на схеме не показана). Включение и выключение этой клавиши происходят независимо от положения остальных клавиш.

Выносной пульт управления приемником включается между нагрузкой детектора и входом усилителя низкой частоты. Так как затухание, вносимое пультом, достигает 12 *дб*, в нем имеется дополнительный каскад усиления напряжения низкой частоты, работающий на лампе ЕС92 и охваченный отрицательной обратной связью по напряжению. В качестве регулятора громкости использован потенциометр R_9.

ПРАКТИЧЕСКИЕ СОВЕТЫ

Прочитав предыдущие главы этой книги, радиолюбитель, очевидно, захочет либо переделать уже имеющийся приемник, либо построить новый, который звучал бы лучше прежнего. Но, вероятно, не все радиолюбители видели двухдиффузорный громкоговоритель или приемник с акустической системой объемного звучания. Поэтому, несомненно, могут возникнуть вопросы чисто практического характера. На некоторые из них мы и постараемся ответить в этой главе.

ВЫБОР КОЛИЧЕСТВА ГРОМКОГОВОРИТЕЛЕЙ

Приступая к конструированию приемника с акустической системой объемного звучания, необходимо прежде всего выбрать количество громкоговорителей, которое можно установить в футляре радиоприемника данных размеров. На первый взгляд кажется, что проще всего сделать акустическую систему объемного звучания с одним громкоговорителем. Но это не совсем так, ибо, как правило, радиолюбителю трудно производить акустические измерения, а правильно сделать необходимый в этом случае распределитель звука без возможности снятия диаграммы направленности излучения почти невозможно. Поэтому в радиолюбительских условиях проще всего построить акустическую систему объемного звучания из трех и более громкоговорителей.

При акустической системе из трех громкоговорителей основной громкоговоритель, рассчитанный на воспроизведение нижних и средних частот, должен быть установлен на отражательной доске, а два громкоговорителя верхних частот — симметрично по обе стороны от него. В этом случае мы будем иметь акустическую систему 3D.

Возможно, конечно, применение и четырех громкоговорителей в акустической системе. Здесь на отражательной доске следует установить два одинаковых громкоговорителя, которые должны воспроизводить нижние и средние частоты.

Применять более сложные акустические системы, состоящие из пяти и более громкоговорителей, без возможности снятия диаграммы направленности излучения мы на первых порах не рекомендуем, так как даже незначительная несимметрия в расположении громкоговорителей без соответ-

ствующей акустической проверки может привести к значительной неравномерности характеристики направленности, а отсюда и к ухудшению качества звучания.

РАСПОЛОЖЕНИЕ И УСТАНОВКА ГРОМКОГОВОРИТЕЛЕЙ

В акустической системе 3D существенную роль играет правильное определение местоположения громкоговорителей верхних частот, которое в основном и влияет на диаграмму направленности излучения. Если оба громкоговорителя верхних частот поместить на отражательной доске, повернув их под углом 30° к основному громкоговорителю, то хотя диаграмма направленности и расширится, неравномерность ее будет довольно значительной. Можно, конечно, дополнительные громкоговорители установить непосредственно на отражательной доске, но тогда обязательно нужно предусмотреть при изготовлении футляра распределители звука, аналогичные показанным на рис. 15. Однако результаты получатся примерно одинаковыми, как и при установке громкоговорителей на отражательной доске.

Уменьшения неравномерности характеристики излучения можно достигнуть в том случае, если громкоговорители верхних частот перенести на боковые стенки футляра и повернуть их под углом 60° к основному громкоговорителю. В этом случае может произойти некоторое уменьшение осевого звукового давления на самых верхних частотах (порядка 10 000—12 000 *гц*), которое, однако, существенного влияния на качество звучания не окажет. Возможно расположение дополнительных громкоговорителей и непосредственно на боковых стенках футляра, т. е. под углом 90° к основному громкоговорителю, но тогда опять потребуется установить распределитель звука, теперь уже подобный показанному на рис. 14. Если же распределителя звука не поставить, то характеристика излучения может принять вид трилистника, когда при угле поворота радиоприемника 30—60° произойдет резкое уменьшение звукового давления, а отсюда и увеличение неравномерности диаграммы направленности излучения.

Совершенно другое дело, когда в качестве основного использованы два одинаковых громкоговорителя. Уже сам факт размещения на отражательной доске двух громкоговорителей приводит к некоторому расширению диаграммы направленности излучения. В этом случае громкоговорители верхних частот можно устанавливать непосредственно на

боковых стенках футляра без применения распределителей звука.

При расположении громкоговорителя под углом 30 или 60° к стенке футляра обязательно нужно сделать преддиффузорную камеру, которая служит для направления звука в определенную сторону и одновременно для крепления громкоговорителя к футляру. Изготовить такую камеру можно из толстой доски или бревна (рис. 49). В одной плоскости она должна иметь квадратное, а в другой — прямоугольное сечение. Размер стороны квадратного сечения должен превышать диаметр диффузородержателя громкоговорителя на 15—20 *мм*. Диаметр отверстия в плоскости должен быть на 4—6 *мм* меньше диаметра диффузора громкоговорителя, а расстояние меньшей стороны скоса от этой плоскости должно быть 10—15 *мм*. Скошенной стороной преддиффузорную камеру прикрепляют к стенке футляра, а к квадратному сечению крепят громкоговоритель.

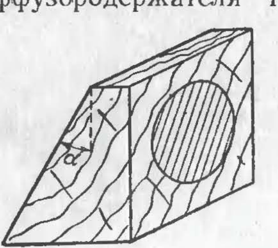


Рис. 49. Примерный вид преддиффузорной камеры для установки громкоговорителя.

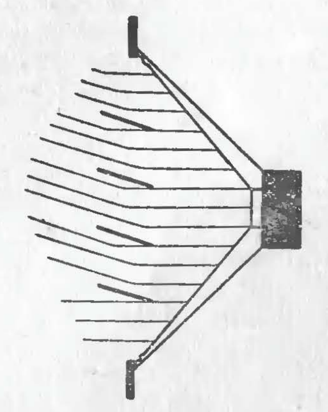


Рис. 50. Схема расположения жалюзи в распределителе звука при направленном излучении в одну сторону.

В случае использования для верхних частот овальных громкоговорителей брусок должен иметь не квадратное, а прямоугольное сечение и овальное отверстие немного меньшего размера, чем оси диффузора громкоговорителя. Отверстия в стенках футляра приемника при любом типе громкоговорителя всегда должны быть овальной формы.

В случае надобности применения распределителя звука, устанавливаемого на боковой стенке футляра, необходимо принять меры к направлению излучения в нужную сторону. Распределитель звука (рис. 14), который выполнен в виде металлических жалюзи, устанавливаемых между боковой стенкой футляра и громкоговорителем, направляет звуковые

колебания равномерно во все стороны. Иногда для достижения наименьшей неравномерности характеристики излучения бывает нужно направить звуковые колебания только в одну сторону. Тогда расположение жалюзи должно быть таким, как схематично показано на рис. 50.

Распределитель звука для боковой стенки футляра можно сделать и в виде пластмассовой решетки с продольными расположенными вертикально ребрами. В радиолюбительских условиях его можно склеить из органического стекла. Удобство такого распределителя заключается еще и в том, что он может быть установлен с наружной стороны футляра и одновременно служит декоративным оформлением бокового отверстия.

Для эффективного действия распределителя звука необходимо, чтобы его жалюзи или ребра входили внутрь диффузора громкоговорителя примерно на 20—30% высоты диффузора. Чем меньше распределитель будет входить во внутреннюю полость диффузора, тем менее эффективно он будет действовать. Однако глубоко располагать жалюзи или ребра внутри диффузора нельзя, так как при больших амплитудах колебания диффузор сможет касаться распределителя звука, что приведет к дребезжанию.

ВЫБОР ГРОМКОГОВОРИТЕЛЕЙ ДЛЯ АКУСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ОБЪЕМНОГО ЗВУЧАНИЯ

Неменьшее значение для достижения высокого качества звучания имеет и правильный выбор громкоговорителей. В приложении 1 приведены данные отечественных электродинамических громкоговорителей. Из чего же исходить при выборе громкоговорителей?

Прежде всего выбирать громкоговорители необходимо, исходя из объема футляра приемника и полосы частот, которую он должен воспроизводить. Размеры футляра следует выбирать с таким расчетом, чтобы наиболее длинные звуковые волны, излучаемые фронтальной и задней сторонами диффузора, не могли замыкаться между собой. Так как эффективность излучения наиболее низких частот зависит в основном от размеров диффузора громкоговорителя, воспроизведение нижних частот при данном объеме футляра будет тем лучшим, чем меньше диаметр диффузора громкоговорителя, конечно если сравниваемые громкоговорители воспроизводят одинаковый спектр частот. Из двух громкоговорителей, например 5ГД-10 и 4ГД-1, целесообразнее применить последний, так как диаметр его

диффузора меньше. Помимо этого, для получения эффекта объемности звучания приемник должен воспроизводить полосу частот от 60—80 до 10 000—12 000 *гц*, причем на верхних частотах, как и на нижних, необходимо обеспечить ненаправленное распространение звука во все стороны.

Учитывая эти условия, для небольшого приемника, объем футляра которого не превышает 0,03 *м*³, в качестве основного можно использовать электродинамический громкоговоритель типа 2ГД-3 диаметром 150 *мм*, а на боковых стенках установить громкоговорители типа 1ГД-5 диаметром 125 *мм*. Правда, последние не воспроизводят эффективно частоты свыше 6 000 *гц*, но этот недостаток можно исправить путем переделки громкоговорителя.

В настольном приемнике с футляром размерами 500×350×250 *мм* (объем около 0,04 *м*³) на отражательной доске можно расположить один громкоговоритель диаметром 200 *мм* (4ГД-1) или два громкоговорителя типа 2ГД-3. В качестве громкоговорителей верхних частот можно использовать те же громкоговорители типа 1ГД-5 или 1ГД-6 с соответствующей переделкой.

В многоламповом настольном приемнике с объемом футляра порядка 0,07 *м*³ в качестве фронтального можно взять громкоговоритель 5ГД-10 диаметром 250 *мм* или два громкоговорителя типа 4ГД-1. В этом случае на боковых стенках футляра желательно установить овальные громкоговорители типа 1ГД-9 с осями 156×98 *мм* и резонансной частотой 150 *гц*. Тогда верхняя граница воспроизводимых громкоговорителями 1ГД-9 частот расширяется приблизительно до 10 000 *гц*.

В настольной многоламповой радиоле для сохранения тех же примерно габаритов и при боковых громкоговорителях типа 1ГД-9 в качестве фронтальных лучше использовать один или два овальных громкоговорителя типа 5ГД-14 с осями 260×170 *мм*.

Для консольного приемника или радиолы с объемом футляра не менее 0,2 *м*³ наилучшей будет акустическая система из двух громкоговорителей типа 5ГД-10 или 5ГД-14 как основных, расположенных на отражательной доске, и громкоговорителей типа 2ГД-3, используемых в качестве громкоговорителей верхних частот.

Немаловажную роль при выборе громкоговорителей играют и их резонансные частоты. Так, при установке на отражательной доске приемника двух громкоговорителей их резонансные частоты должны отличаться одна от другой

на 20—30 *гц*. Помимо этого, для радиолы, особенно многоламповой, резонансная частота одного из фронтальных громкоговорителей должна быть не ниже 70 *гц*, а другого — порядка 90—100 *гц*. При более низких резонансных частотах повышается возможность возникновения акустической связи между проигрывателем и громкоговорителями, а также может сильно возрасти уровень фона переменного тока.

Выбирая громкоговорители, нельзя забывать и особенности схемы приемника. В случае применения в приемнике магнитной антенны следует использовать громкоговорители только с закрытой магнитной системой с керновым магнитом из сплава АНКО-4. Громкоговорители с кольцевым магнитом обладают большим полем рассеяния, которое может влиять на параметры магнитной антенны. В этом случае приходится либо удалять магнитную антенну на значительное расстояние от громкоговорителей, либо закрывать громкоговорители магнитным экраном, а это, естественно, ухудшит параметры акустической системы.

ИЗ ЧЕГО СЛЕДУЕТ ИСХОДИТЬ ПРИ ВЫБОРЕ СХЕМЫ УСИЛИТЕЛЯ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ

Не менее важную роль в достижении эффекта объемности звучания играет и низкочастотный тракт приемника, к выбору схемы которого нужно отнестись со всей серьезностью. Из чего же следует исходить при выборе схемы усилителя низкой частоты и какие требования к нему следует предъявить?

Прежде всего низкочастотный тракт приемника с объемным звучанием должен пропускать спектр частот от 60—80 до 10 000—12 000 *гц*. В области нижних (500—600 *гц*) и верхних (4 000—5 000 *гц*) частот усилитель должен давать возможность поднимать частотную характеристику не менее чем на 6—10 *дб* и ослаблять ее на 10—15 *дб* по отношению к средним частотам (порядка 1 000—1 500 *гц*). Выбирать ту или иную степень увеличения или уменьшения усиления на соответствующих частотах следует исходя из данных акустической системы. Например, когда громкоговорители эффективно воспроизводят верхние частоты, вполне возможно уменьшение подъема на этих частотах до 3—5 *дб*, но, конечно, с соответствующим увеличением ослабления усиления на этих же частотах.

Помимо этого, конструируя низкочастотный тракт приемника, необходимо принять меры к уменьшению как коэффициента нелинейных искажений, так в особенности и коэффициента интермодуляционных искажений.

Немаловажную роль для достижения высокого качества звучания приемника играет и уровень фона в усилителе низкой частоты. Необходимость в усилении столь низких частот звукового спектра, как 60—80 *гц*, близких к частоте электрической сети переменного тока, требует принятия специальных мер к ослаблению фона до уровня —40 и даже —60 *дб*. Особенно это относится к настольным радиолам.

И, наконец, еще одна особенность низкочастотного тракта приемника с объемным звучанием, которую никак нельзя забывать, — это необходимость в разделении всей полосы частот звукового диапазона на каналы. Вызывается это не только надобностью получения эффекта объемности звучания, но и как мера для снижения коэффициента интермодуляционных искажений.

Как указывалось выше, в широкополосных усилителях низкой частоты имеют место интермодуляционные искажения, заключающиеся в том, что при сильной басовой передаче верхние частоты дополнительно модулируются нижними. Действительно, если на вход широкополосного усилителя низкой частоты одновременно подать две различные частоты f_1 и f_2, то на выходе усилителя, кроме этих частот, появятся еще и продукты модуляции верхней частоты f_2 более низкой частотой f_1, т. е. частоты f_2+f_1; f_2-f_1; f_2+2f_1; f_2-2f_1; f_2+3f_1; f_2-3f_1 и т. д. Возникновение и воспроизведение этих новых частот и приводят к ухудшению качества звучания.

Большое значение имеет выбор граничной частоты между каналами, т. е. частоты, ниже которой резко ослабляется усиление верхних звуковых частот, а выше — нижних. Наилучшие результаты дают усилители, в которых граничная частота выбрана в пределах 800—1 200 *гц*.

Приведенным выше требованиям может в той или иной степени удовлетворить как двухканальный усилитель, так и усилитель, собранный по схеме с разделением полосы частот на каналы на выходе. В простом малоламповом приемнике наиболее целесообразно применить разделение частот на выходе усилителя. Самый простой способ такого разделения был показан на рис. 26, где громкоговорители верхних частот подключены ко вторичной обмотке выходного трансформатора через конденсатор C_{14}. Более сложный, но дающий лучшие результаты способ разделения полосы частот на каналы приведен на рис. 25. Здесь громкоговори-

тели верхних частот имеют свой выходной трансформатор $Тр_2$, который подключен к аноду оконечной лампы через конденсатор небольшой емкости C_{12}. В случае применения в низкочастотном тракте двухтактного оконечного каскада разделение полосы частот на каналы можно осуществить по схемам, показанным на рис. 31 или 32.

Резкого снижения интермодуляционных искажений можно добиться только в случае построения усилителя низкой частоты по двухканальной схеме, когда разделение спектра происходит до оконечного каскада. Объясняется это тем, что каждый канал усиливает довольно узкую полосу частот и модуляция одних частот другими значительно ослабляется. Одновременно в двухканальном усилителе происходит более резкое разграничение полосы воспроизводимых частот.

Раздельные оконечные каскады, применяемые в двухканальных усилителях, позволяют лучше согласовать группы громкоговорителей с выходными лампами, а также дают возможность использовать более глубокую регулировку тембра и частотно-зависимую отрицательную обратную связь, работающую на частотах только своего канала. Из сказанного выше очевидно, что двухканальный усилитель позволяет получить значительно лучшие параметры низкочастотной части приемника, чем одноканальный.

ВЫБОР СХЕМЫ РЕГУЛИРОВКИ ТЕМБРА

Во всех усилителях низкой частоты приемников с объемным звучанием применяется раздельная и плавная регулировка тембра на нижних и верхних звуковых частотах. Кроме того, в некоторых усилителях введен еще дополнительный переключатель тембра, позволяющий изменять характеристику усилителя в зависимости от характера радиопередачи. Все это не случайно, ибо невозможно обеспечить действительно высококачественное воспроизведение, не имея возможности плавно изменять частотную характеристику усилителя низкой частоты.

Заметное на слух изменение тембра происходит в том случае, когда регуляторы позволяют изменять усиление на данной частоте не менее чем на 6 *дб* (в 2 раза). Однако в большинстве случаев для обеспечения действительно высококачественного воспроизведения разнообразных программ этого минимального изменения усиления оказывается недостаточно. На основе многочисленных опытов установлено, что наиболее естественное воспроизведение любых передач можно подобрать лишь в том случае, когда регуляторы тембра позволяют изменять усиление низкочастотного тракта на нижних и верхних частотах в пределах 15—20 *дб*. Из этого, конечно, не следует, что частотная характеристика должна иметь подъем 15—20 *дб* на соответствующих частотах. Наоборот, приведенная цифра — это интервал регулирования или, иначе говоря, изменение усиления на данной частоте при крайних положениях регуляторов тембра по отношению к усилению на средней частоте. Обычно действие регулятора тембра нижних частот измеряется на частоте 100 *гц*, а верхних — на частоте 5 000—7 000 *гц*; в качестве средней принимается частота 1 000 *гц*.

В зависимости от свойств и особенностей акустической системы для каждого приемника в отдельности следует подбирать такие пределы изменений усиления при регулировании тембра, при которых происходит выравнивание как частотной характеристики всего тракта по звуковому давлению, так и диаграммы направленности излучения. В большинстве случаев регулятор тембра нижних частот должен обеспечивать изменение частотной характеристики в пределах ±7—10 *дб* по отношению к средней частоте. Действие регулятора тембра верхних частот должно находиться в соответствии с полосой пропускания высокочастотного тракта приемника. Если полоса пропускания высокочастотного тракта ограничена и не может изменяться, то целесообразно пределы регулирования тембра распределить равномерно как в сторону повышения, так и в сторону ослабления. Когда же в высокочастотном тракте предусмотрена переменная полоса пропускания и имеется возможность регулировать ее, подъем частотной характеристики в области верхних частот может быть меньшим, чем спад ее на этих же частотах.

Во всех случаях необходимо обеспечить такую регулировку, при которой в любых положениях регуляторов тембра изменение выходного напряжения на частоте 1 000 *гц* не превышает 3 *дб*. Это нужно потому, что при большем изменении выходного напряжения при регулировании тембра будет изменяться и громкость воспроизведения, а это в свою очередь вызовет необходимость регулировать усиление при прослушивании различных передач. Следовательно, выбирая схему регулирования тембра и налаживая работу регуляторов, надо все время следить за изменением выходного напряжения на средней частоте.

Регулирование тембра может быть осуществлено в цепях частотно-зависимой отрицательной обратной связи без

использования обратной связи, а также комбинацией этих двух способов.

Для возможности осуществления регулировки тембра с подъемом частотной характеристики в области нижних и верхних частот при любом способе регулирования необходимо иметь соответствующий запас усиления.

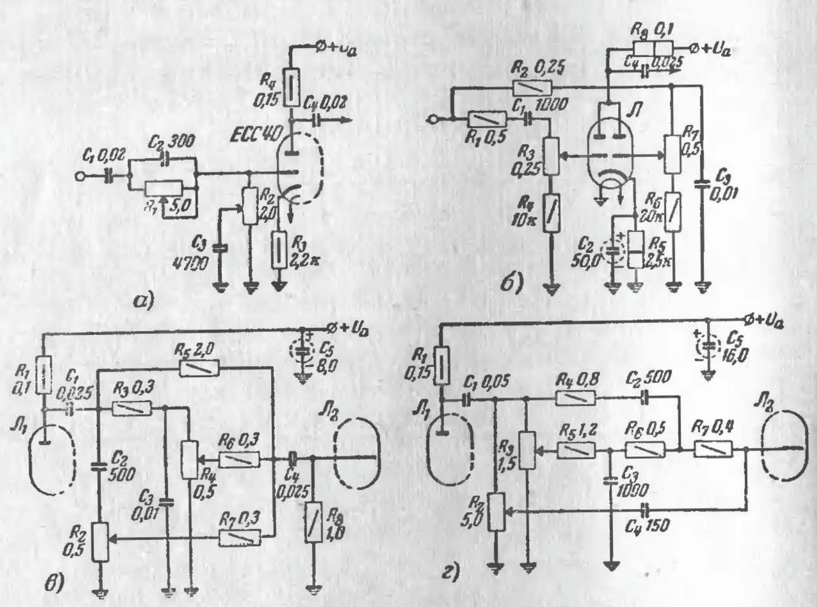


Рис. 51. Схемы регуляторов тембра, расположенных в цепи усиления сигнала и позволяющих только ослаблять усиление на соответствующих частотах.

Наилучшие результаты как по пределам регулирования, так и по качественным показателям усилителя дают регуляторы тембра, в которых отрицательная обратная связь для регулировки тембра не используется, а применяется лишь для образования определенного подъема частотной характеристики в области нижних и верхних частот. Регулировка тембра в этом случае достигается с помощью регуляторов, ослабляющих усиление на соответствующих частотах. Такой способ регулирования тембра находит широкое применение в зарубежных приемниках.

На рис. 51 показано несколько схем регуляторов тембра, построенных по этому принципу. Цепь частотно-зависимой отрицательной обратной связи, с помощью которой осу-

ществляется подъем частотной характеристики в области нижних и верхних частей, на схемах рис. 51 не показана.

Самая простая схема изображена на рис. 51,*а*. Здесь в качестве регулятора тембра нижних частот использован реостат R_1, параллельно которому включен конденсатор C_2. Регулирование тембра происходит так. В крайнем левом положении движка реостата R_1 его сопротивление равно нулю и конденсатор C_2 оказывается замкнутым. Следовательно, нижние звуковые частоты, подводимые к регулятору тембра, будут беспрепятственно проходить к управляющей сетке лампы ECC40 и частотная характеристика усилителя будет иметь подъем на нижних частотах. По мере передвижения движка реостата вправо его сопротивление будет возрастать и в крайном правом положении достигнет максимальной величины. В этот момент сопротивление реостата будет равно или несколько больше реактивного сопротивления конденсатора C_2 для нижних частот, общее сопротивление цепи для этих частот возрастет и они будут ослаблены.

Регулирование усиления на верхних частотах осуществляется потенциометром R_2 с помощью конденсатора C_3. В нижнем положении движка потенциометра конденсатор C_3 оказывается замкнутым, и верхние звуковые частоты полностью подводятся к управляющей сетке лампы. Следовательно, частотная характеристика усилителя будет иметь подъем на этих частотах. При перемещении движка потенциометра в крайнее верхнее положение конденсатор C_3 оказывается включенным между управляющей сеткой лампы и «землей», что приводит к ослаблению верхних частот, которые свободно проходят через этот конденсатор на «землю». Потенциометр R_2 одновременно выполняет и функцию сопротивления утечки сетки лампы ECC40.

Совершенно иначе построена схема регулирования тембра, приведенная на рис. 51,*б*. Здесь в качестве предварительного усилителя может быть использован двойной триод любого типа. В этой схеме весь спектр звуковых частот разделяется на два канала. Нижние частоты подводятся к управляющей сетке правого, а верхние—к управляющей сетке левого триода. Регуляторы тембра нижних (R_7) и верхних (R_3) частот являются лишь регуляторами усиления соответствующих каскадов. Пределы регулирования можно изменять путем подбора величин сопротивлений R_4 и R_6. Аноды обоих триодов соединены между собой и подключены к общему нагрузочному сопротивлению R_8. С него низкие часто-

6—1123

ты подводятся к следующему каскаду через конденсатор C_4. Следует отметить, что подобные схемы особенно удобны, когда усилитель низкой частоты предполагается собрать по двухканальной схеме. Тогда нужно в каждый триод поставить самостоятельное сопротивление анодной нагрузки, а с него подавать напряжение низкой частоты на соответствующий оконечный каскад.

В схеме на рис. 51,*в* спектр звуковых частот, усиленный лампой $Л_1$, разделяется на три канала. Верхние частоты подводятся через конденсатор C_2 к потенциометру R_2 и с его движка — к управляющей сетке лампы $Л_2$. Нижние частоты проходят к управляющей сетке второй лампы через потенциометр R_4, а средние — через сопротивление R_5. В этой схеме, как и в предыдущей, регулирование тембра осуществляется путем изменения усиления на соответствующих частотах.

Другая аналогичная схема показана на рис. 51,*г*. Здесь регуляторы тембра нижних (R_3) и верхних (R_2) частот также изменяют усиление на соответствующих частотах, а средние частоты проходят через сопротивление R_4 и конденсатор C_2. Если в этой схеме сопротивление R_4 заменить потенциометром, к движку которого подключить конденсатор C_2, то с его помощью можно будет изменять усиление на средних частотах.

Интересная схема регулирования тембра, примененная в одном из современных приемников среднего класса, приведена на рис. 52. В ней, как и в предыдущих схемах, регуляторы тембра нижних (R_6) и верхних (R_3) частот могут лишь ослаблять усиление на соответствующих частотах. Подъем частотной характеристики в этом усилителе осуществляется тремя *RC*-фильтрами, подключенными к отводам от регулятора громкости (на схеме не показан).

Схема на рис. 52 позволяет получить так называемое балансное регулирование тембра. Известно, что для достижения высокохудожественного звучания приемника необходимо обеспечить такой баланс между крайними частотами звукового спектра, воспроизводимого приемником, при котором соблюдается равенство

$$\sqrt{F_{макс} F_{мин}} = 800,$$

где $F_{макс}$ и $F_{мин}$ — максимальная и минимальная частоты звукового спектра.

Наряду с раздельной регулировкой тембра на нижних и верхних частотах в приемнике предусмотрена возможность и

механического объединения регуляторов тембра. Элементы усилителя подобраны таким образом, что при объединенном регулировании тембра обеспечивается балансное изменение полосы пропускания усилителя, а это в свою очередь позволяет получить приятное звучание приемника, даже при относительно узкой полосе воспроизводимых частот.

Выше мы говорили, что регулирование тембра можно осуществить изменением глубины частотно-зависимой отри-

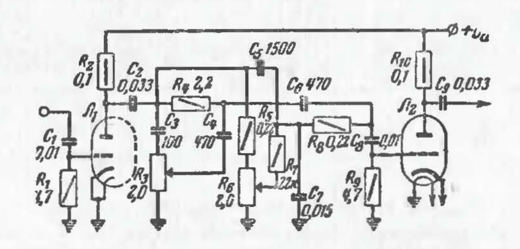


Рис. 52. Схема включения регуляторов тембра, обеспечивающих балансное регулирование.

цательной обратной связи. Одна из таких наиболее простых схем показана на рис. 53,*а*.

Частотно-зависимая отрицательная обратная связь осуществляется со вторичной обмотки выходного трансформатора на катод лампы первого каскада предварительного усиления, охватывая весь низкочастотный тракт, и имеет регуляторы тембра нижних (R_3) и верхних (R_1) частот. Действует эта схема следующим образом. Напряжение обратной связи, подаваемое на катод лампы $Л_1$, снимается с сопротивления R_1. Чем бо́льшим будет это напряжение, тем глубже окажется обратная связь и, следовательно, меньшим усиление низкочастотного тракта.

Регулирование нижних частот осуществляется реостатом R_3, параллельно которому включен конденсатор C_2. Сопротивление этого конденсатора на верхних и средних частотах мало. В результате этого напряжение отрицательной обратной связи на этих частотах, а следовательно, и ослабление усиления получаются максимальным. Изменение величины сопротивления R_3 не оказывает влияния на усиление на средних и верхних частотах. По мере понижения частоты падение напряжения отрицательной обратной связи на сопротивлении R_1 уменьшается из-за увеличения реактивного сопротивления конденсатора C_2. Это приводит к умень-

шению глубины обратной связи на нижних частотах и, следовательно, к увеличению усиления на них. С уменьшением величины R_3 при регулировке тембра полное сопротивление участка цепи R_3C_2 для нижних частот уменьшается, напряжение обратной связи возрастает, а усиление падает. Та-

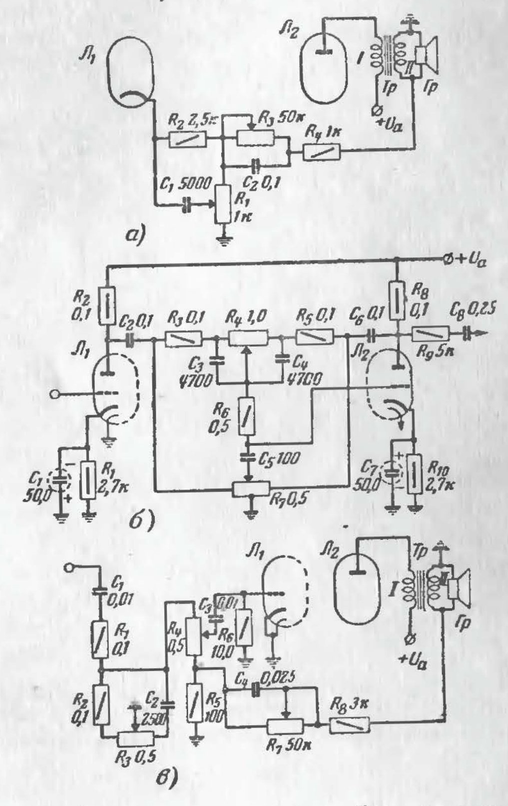


Рис. 53. Схемы регуляторов тембра, расположенных в цепи отрицательной обратной связи.

ким образом, с выведением сопротивления R_3 подъем частотной характеристики на нижних частотах уменьшается.

Для регулирования верхних частот использован потенциометр R_1. Когда движок потенциометра находится на каком-либо участке потенциометра R_1, образуется делитель напряжения, состоящий из сопротивления R_2 и конденсатора C_1 включенных параллельно верхней по схеме части сопротивления R_1. Конденсатор C_1 представляет большое со-

противление для нижних и средних частот. Поэтому на катод лампы $Л_1$ поступает полное напряжение отрицательной обратной связи, образующееся на сопротивлении R_1. Для верхних частот сопротивление конденсатора C_1 мало. Вследствие этого напряжение отрицательной обратной связи в большей степени зависит от положения движка потенциометра R_1. В верхнем положении движка этого потенциометра конденсатор C_1 оказывается включенным параллельно сопротивлению R_2, на катод лампы $Л_1$ подается полное напряжение отрицательной обратной связи и ослабление усиления на верхних частотах становится максимальным. По мере передвижения движка потенциометра R_1 вниз напряжение отрицательной обратной связи на катоде лампы для верхних частот уменьшается и усиление на этих частотах возрастает.

Другая схема регулирования тембра с использованием частотно-зависимой отрицательной обратной связи приведена на рис. 53,*б*. Вследствие симметричного размещения между лампами регуляторов тембра нижних (R_4) и верхних (R_7) частот усиление каскада на средней частоте близко к единице. Действует эта схема так: когда движки потенциометров R_4 и R_7 находятся в среднем положении, частотная характеристика каскада прямолинейна; по мере передвижения движков в ту или иную сторону изменяется глубина отрицательной обратной связи, а это в свою очередь приводит к изменению усиления на соответствующих частотах. Преимущество приведенной схемы регулирования тембра по сравнению со схемой рис. 35 — большая крутизна срезов частотной характеристики, которая почти не изменяется при регулировании, а недостаток ее — необходимость применения потенциометра с отводом от средней точки для регулирования верхних частот. Правда, сделать отвод, даже в радиолюбительских условиях, нетрудно. Следует отметить, что даже при максимальных подъемах частотной характеристики на краях звукового диапазона глубина отрицательной обратной связи остается достаточно большой, а это обеспечивает малые нелинейные искажения.

Приведенные на рис. 53,*б* данные деталей обеспечивают достаточно глубокое регулирование тембра (до 20 *дб*) при использовании лампы типа 6Н8С и напряжении анодного питания порядка 250 *в*.

В качестве комбинированной регулировки тембра, когда один из регуляторов помещен в цепи усиления, а другой — в цепи отрицательной обратной связи, может служить схе-

ма, показанная на рис. 53,*в*. Здесь регулятор верхних частот (R_3) изменяет усиление на верхних частотах. Регулятор тембра нижних частот (R_7) размещен в цепи частотно-зависимой отрицательной обратной связи; действие его аналогично действию регулятора, рассмотренного в схеме рис. 53,*а*.

Приведенные схемы регулирования тембра не могут исчерпать всего многообразия предназначенных для этой цели схем. Они лишь дополняют и разъясняют работу регуляторов тембра, приведенных на схемах усилителей низкой частоты приемников с объемным звучанием. Следует, однако, добавить, что для обеспечения наиболее плавного регулирования тембра желательно применять потенциометры и реостаты с линейной характеристикой изменения сопротивления (типа А).

ОДИН ВЫХОДНОЙ ТРАНСФОРМАТОР ИЛИ ДВА?

Большое значение для достижения высокого качества звучания приемника имеет конструкция выходного трансформатора. Как видно из схем рис. 25 и 26, для достижения эффекта объемности громкоговорители акустической системы можно питать от одного или двух выходных трансформаторов. В первом случае выходной трансформатор должен пропускать всю полосу частот без существенного завала (не более 2 *дб*) на границах частотного диапазона. Чтобы удовлетворить этому требованию, необходимо конструировать выходной трансформатор с возможно большей индуктивностью первичной обмотки. Это обеспечит хорошее пропускание нижних частот. С другой стороны, чтобы акустическая система эффективно воспроизводила верхние частоты, нужно иметь возможно меньшую индуктивность рассеяния первичной обмотки.

Удовлетворить эти противоречивые требования можно лишь в том случае, если применить в трансформаторе сердечник довольно значительных размеров, а первичную обмотку сделать чередующейся. Помимо этого, вторичная обмотка такого выходного трансформатора должна иметь отвод, так как в большинстве случаев сопротивление звуковых катушек основного и дополнительных громкоговорителей бывает различным. Все это значительно усложняет изготовление выходного трансформатора.

Следует обратить внимание на некоторую особенность расчета числа витков вторичных обмоток выходного трансформатора при различных сопротивлениях и мощностях громкоговорителей. Коэффициент трансформации для такого выходного трансформатора можно определить по следующей приближенной формуле:

$$n = \frac{w_2}{w_1} = \sqrt{\frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{P_2}{P_1}},$$

где w — количество витков в соответствующей обмотке;
R_1 — сопротивление нагрузки, пересчитанное в первичную обмотку;
R_2 — сопротивление нагрузки вторичной обмотки;
P — мощность, выделяемая на нагрузке, или полная выходная мощность в первичной обмотке.

По известному из обычного расчета числу витков первичной обмотки и данным громкоговорителей с помощью приведенной формулы находят количество витков вторичных обмоток. Если принять последовательное включение вторичных обмоток, то общее число витков вторичной обмотки должно быть равным числу витков большей обмотки; отвод нужно сделать от такого количества витков, которое должно быть в меньшей обмотке. Диаметр провода для вторичных обмоток рассчитывается в зависимости от сопротивления звуковых катушек громкоговорителей обычным порядком.

В случае использования в оконечном каскаде усилителя низкой частоты двух отдельных выходных трансформаторов (рис. 25) первый из них ($Тр_1$) должен пропускать нижние и средние частоты, а второй ($Тр_2$) — только верхние.

Выходной трансформатор $Тр_1$ по конструкции и числу витков мало чем отличается от аналогичного выходного трансформатора, применяемого в обычных приемниках без акустической системы объемного звучания. Поэтому расчет его несложен и производится по обычным формулам.

Расчет выходного трансформатора $Тр_2$ для громкоговорителей верхних частот несколько отличен. Дело в том, что первичная обмотка этого трансформатора вместе с разделительным конденсатором (C_{12} на рис. 25) представляет собой LC-фильтр верхних частот. Исходя из этого положения, задаются величиной емкости разделительного конденсатора и граничной частотой, а затем определяют индуктивность первичной обмотки по формуле

$$L_1 = \frac{2{,}53 \cdot 10^3}{f_{гр}^2 C},$$

где L_1 — индуктивность первичной обмотки, *гн*;
C — емкость разделительного конденсатора, *мкф*;
$f_{гр}$ — граничная частота, *гц*.

Обычно индуктивность первичной обмотки такого выходного трансформатора бывает в пределах 0,5—1,5 *гн.* Поэтому для его изготовления можно использовать сердечник небольших размеров (например, из пластин УШ-12). Число витков в его первичной обмотке будет небольшим, и принимать какие-либо специальные меры к снижению индуктивности рассеяния не придется. Кроме того, при двух выходных трансформаторах легче осуществить наилучшее согласование громкоговорителей с сопротивлением нагрузки оконечной лампы.

Все это говорит о том, что в радиолюбительских условиях значительно проще рассчитать и изготовить два отдельных выходных трансформатора, чем один широкополосный; лучшими будут и полученные результаты.

РАСШИРЕНИЕ ПОЛОСЫ ЗВУКОВЫХ ЧАСТОТ, ВОСПРОИЗВОДИМЫХ ГРОМКОГОВОРИТЕЛЕМ

В приведенных выше рекомендациях по выбору громкоговорителей для систем объемного звучания в большинстве встречались новые типы громкоговорителей, специально разработанные для таких акустических систем. Среди них имеются как овальные (1ГД-9), так и двухдиффузорные (2ГД-3). Приобрести такие громкоговорители пока еще не всегда возможно. Поэтому радиолюбителю придется самому переделывать имеющиеся в продаже громкоговорители от приемников старых типов с тем, чтобы расширить полосу воспроизводимых ими звуковых частот.

В качестве громкоговорителя верхних частот можно использовать любой круглый электродинамический громкоговоритель с диффузором диаметром 100—125 *мм* или овальный громкоговоритель тех же примерно размеров. Из распространенных в настоящее время громкоговорителей наиболее подходящими являются 1ГД-5 и 1ГД-6. Однако диапазон воспроизводимых ими звуковых частот не превышает 6 000 *гц.* Чем жестче диффузор и особенно его горловина, тем лучше громкоговоритель воспроизводит верхние звуковые частоты. Так как боковые громкоговорители должны излучать только верхние частоты звукового диапазона, то следовательно, переделка сведется лишь к повышению жесткости диффузора. Проще всего это можно сделать путем покрытия диффузора с обеих сторон бесцветным цапон-лаком. Покрывать нужно тонким и ровным слоем из пульверизатора.

В качестве основного громкоговорителя, воспроизводящего широкий диапазон частот, можно применить любой круглый электродинамический громкоговоритель с диффузором диаметром 200 *мм* и выше. Громкоговорители старых разработок воспроизводят довольно узкий диапазон частот, особенно в области верхней его границы. Наилучший способ расширения полосы — добавление второго небольшого диффузора, т. е. переделка громкоговорителя в двухдиффузорный. При такой переделке возможны два варианта. Первый — это приклейка к горловине основного диффузора небольшого дополнительного конуса из чертежной бумаги, который должен быть высотой примерно в половину высоты основного диффузора. Вершина конуса должна иметь тот же диаметр, что и основной диффузор в месте приклейки звуковой катушки, а основание — отступать от основного диффузора на 2—3 *мм.* Следовательно, угол образующей дополнительного конуса должен быть несколько бóльшим, чем основного диффузора.

Лучшие результаты можно получить, если дополнительный конус приклеить не к горловине диффузора, а к каркасу звуковой катушки. Здесь дополнительный конус удобно сделать из такого же диффузора, как и основной, предварительно пропитав его цапон-лаком. Высота дополнительного конуса и в этом случае должна быть равна примерно половине высоты основного диффузора, а высота каркаса звуковой катушки — увеличена на 5—10 *мм.* Так как увеличить высоту каркаса звуковой катушки путем подклейки дополнительного кольца нельзя, то при втором способе переделки громкоговорителя в двухдиффузорный необходимо изготовить новый, более длинный каркас, намотать на нем звуковую катушку и вновь вклеить ее в диффузор, для чего непременно придется снимать всю подвижную систему громкоговорителя.

Каркас звуковой катушки следует сделать из полоски кабельной бумаги марки К-12, предварительно покрыв ее с одной стороны целлулоидным клеем, составленным из 70,5% ацетона, 17,5% амилацетата и 12% целлулоида. Этим же клеем промазывают и витки намотанной звуковой катушки. Приклеивать диффузор и центрирующую шайбу к диффузородержателю нужно клеем БФ-4 или целлулоидным клеем, в состав которого входят 57,8% ацетона, 34,9% амилацетата и 7,3% целлулоида. Устройство подвижной системы с дополнительным конусом, приклеенным к каркасу звуковой катушки, показано на рис. 54.

Наилучшим образом отработать параметры как громкоговорителя в отдельности, так и всей акустической системы

в целом можно, воспользовавшись звуковым генератором, например типа ЗГ-2А, ламповым милливольтметром типа ЛВ-9 и динамическим микрофоном, лучше широкополосным.

Подавая напряжения различных частот от звукового генератора к громкоговорителю, можно даже на слух определить, эффективно ли он воспроизводит как нижние, так и верхние частоты звукового спектра. Более определенное представление о полосе звуковых частот, воспроизводимых громкоговорителем, можно иметь в том случае, когда хотя бы приблизительно будет снята его частотная характеристика.

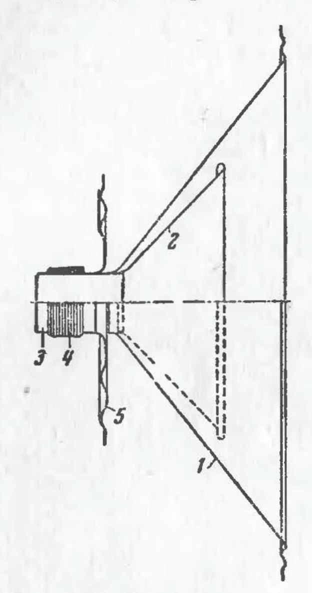


Рис. 54. Устройство подвижной системы двухдиффузорного громкоговорителя.

1 — основной диффузор; *2* — дополнительный конус; *3* — каркас звуковой катушки; *4* — звуковая катушка; *5* — центрирующая шайба.

Для снятия частотной характеристики громкоговорителя его устанавливают в футляр приемника на предназначенное для него место. Затем в 1 *м* от футляра в горизонтальной плоскости громкоговорителя располагают микрофон, провода которого подключают к милливольтметру. Подавая напряжение от генератора к звуковой катушке громкоговорителя, замечают показания милливольтметра на различных частотах. Потом, приняв какую-либо частоту (обычно 400 или 1 000 *гц*) за нуль, пересчитывают показания милливольтметра по отношению к этой частоте и наносят их на график. Это и будет частотная характеристика громкоговорителя.

Кроме того, весьма желательно снять и диаграмму направленности излучения всей акустической системы. Для этого на все громкоговорители, установленные в футляре приемника, подается напряжение звуковой частоты, например 5 000 *гц*. Подводить звуковое напряжение к громкоговорителям лучше через низкочастотный тракт приемника, ибо при этом будут обеспечены необходимое разделение полосы частот на каналы, а также возможная компенсация провалов в частотных характеристиках громкоговорителей.

Как и в предыдущем случае, микрофон устанавливают перпендикулярно фронту приемника, в 1 *м* от него на уровне основных громкоговорителей. К выводным зажимам микрофона подключают милливольтметр. Затем, постепенно поворачивая футляр приемника в обе стороны от первоначального положения на ±90°, замечают показания милливольтметра, которые после пересчитывают и наносят на график, аналогичный, например, показанному на рис. 10. Измерение характеристики направленности излучения акустической системы следует производить на трех-четырех частотах верхней части звукового диапазона и через каждые 15° поворота футляра приемника.

ПРАВИЛЬНОЕ РАСПОЛОЖЕНИЕ ПРИЕМНИКА С АКУСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ ОБЪЕМНОГО ЗВУЧАНИЯ В КОМНАТЕ

При акустической системе объемного звучания 3D характер проявления объемности звучания в большой степени зависит от правильного расположения приемника в комнате. Как говорилось в гл. 2, достижение эффекта объемности звучания возможно лишь в том случае, когда верхние частоты, излучаемые дополнительными громкоговорителями, отражаются от стен комнаты и расположенной в ней мебели. Следовательно, устанавливая приемник, нужно следить, чтобы он не был помещен близко от стен или мебели. На опыте установлено, что наиболее благоприятные результаты получаются в том случае, когда приемник размещается в одном из углов комнаты так, чтобы боковые панели футляра были расположены, примерно, под углом 45° к стене комнаты. Это, конечно, не исключает возможности и другого расположения приемника. Во всяком случае, всегда следует испробовать несколько вариантов установки приемника и остановиться на лучшем, т. е. таком, когда наибольшее проявление эффекта объемности звучания достигается в 2—5 *м* от приемника.

РАЗДЕЛЕНИЕ ПОЛОСЫ ЧАСТОТ НА ТРИ КАНАЛА

При составлении акустической системы из пяти и более громкоговорителей различных типов целесообразнее всего разделить полосу частот, воспроизводимую усилителем, на три канала. Так как применение трехканальных усилителей низкой частоты вряд ли себя оправдает, единственно правильным решением в этом случае будет разделение полосы частот на выходе низкочастотного тракта. Одна из таких схем была показана на рис. 24.

Другая схема, более простая и пригодная для приемников с акустической системой объемного звучания, показана на рис. 55. Здесь электродинамический громкоговоритель $Гр_1$, воспроизводящий нижние звуковые частоты, питается от выходного трансформатора $Тр_1$, соединенного непосредственно с анодами оконечных ламп. Электродинамиче-

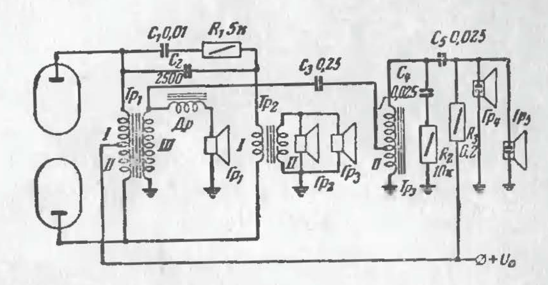


Рис. 55. Схема выхода приемника, обеспечивающая разделение полосы воспроизводимых частот на три канала.

ские громкоговорители средних частот $Гр_2$ и $Гр_3$ питаются от своего выходного трансформатора $Тр_2$, который подключен к анодам оконечных ламп через фильтр, состоящий из конденсаторов C_1, C_2 и сопротивления R_1. Электростатические громкоговорители верхних частот $Гр_4$ и $Гр_5$ питаются от вторичной обмотки выходного трансформатора $Тр_1$ через повышающий автотрансформатор $Тр_3$ и фильтры верхних частот.

В случае применения электродинамических громкоговорителей верхних частот вместо автотрансформатора можно использовать третий выходной трансформатор и несколько изменить схему.

ПРИЛОЖЕНИЯ

1. Данные отечественных громкоговорителей

Параметр	Тип громкоговорителя										
	1ГД-1	1ГД-2	1ГД-5	1ГД-6	1ГД-9[1,4]	2ГД-3[2]	3ГД-2	4ГД-1[2]	5ГД-9	5ГД-10	5ГД-14[1,2]
Номинальная мощность, *ва*	1	1	1	1	1	2	3	4	5	5	5
Диапазон воспроизводимых частот, *гц*	150—5 000	150—5 000	150—6 000	150—6 000	100—7 000	70—10 000	80—6 000	60—12 000	70—7 000	50—12 000	60—12 000
Неравномерность частотной характеристики, *дб*	17	15	15	15	12	14	15	14	12	14	14
Среднее звуковое давление, *бар*	2	3	2	3	2,5	2,5	3	2,5	3	3	2,5
Коэффициент гармоник, %:											
на частотах до 200 *гц*	10	10	12	12	12	12	15	15	15	7	15
„ „ свыше 200 *гц*	7	7	7	7	5	7	7	7	7	5	7
Резонансная частота подвижной системы, *гц*	100 и 120	140 и 180	125	100	100 и 150	80 и 100	80	60 и 80	70 и 90	50 и 70	60 и 80
Полное сопротивление звуковой катушки, *ом*	3,6	3,6	6	6	6	4,5	4	4,5	4	4	4,5
Сопротивление звуковой катушки постоянному току, *ом*	3,25	3,25	5,5	5,5	5,5	3,5	3,4	3,5	3,4	3,4	3,5
Число витков катушки:											
в первом слое	31	31	32	32	32	32	32	32	32	32	32
во втором слое	29	29	31	31	31	30	30	30	30	30	30
Диаметр провода катушки, *мм*	0,16	0,16	0,12	0,12	0,12	0,16	0,16	0,16	0,18	0,18	0,18
Индукция в зазоре, *гс*	5 500	8 500	5 000	7 300	7 000	7 000	6 000	7 000	9 000	9 000	7 000
Вес магнита, *г*	250	520	150	340	50	70	350	100	700	700	100
Вес громкоговорителя, *г*	800	1 170	370	600	250	400	1 200	600	1 700	1 700	600
Диаметр громкоговорителя, *мм*	150	150	124	124	156/98[3]	150	202	202	252	250	230/170[3]
Высота громкоговорителя, *мм*	76	84	60	63	66	73	102	100	126	150	95

[1] Громкоговоритель имеет овальную форму.
[2] Двухдиффузорный громкоговоритель.
[3] Размеры по осям овального громкоговорителя.
[4] Громкоговорители 1ГД-9 выпускаются также с диапазоном частот 150—10 000 *гц*.

2. Параметры некоторых иностранных радиоламп

Параметры	EABC80	EBF80	EC92	ECC40	ECC81	ECC83	EF80	EL12	EL41	EL84	EL86	UABC80	UL41	PCL81	
Напряжение накала, *в*	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3 (12,6)[4]	6,3 (12,6)[4]	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	28,5	45,0	12,6	
Ток накала, *а*	0,45	0,3	0,15	0,6	0,3 (0,15)	0,3 (0,15)	0,3	1,2	0,71	0,76	0,76	0,1	0,1	0,3	
Напряжение анода, *в*	250[2]	250[3]	250	250[1]	250[1]	250	250	250	250	250	170	200	200	200[2]	200[3]
Напряжение сетки второй, *в*	—	85	—	—	—	—	250	250	250	250	170	—	200	—	200
Напряжение сетки первой, *в*	—3	—2	—2	—5,6	—2	—2	—3,5	—7	—6	—7,4	—12,5	—2,3	—14	—1,5	—7
Ток анода, *ма*	1	5	10	6	10	1,2	10	72	36	48	70	1	45	1,25	30
Ток сетки второй, *ма*	—	1,75	—	—	—	—	2,8	8	5,2	5,4	5	—	8,5	—	4,8
Крутизна характеристики, *ма/в*	1,2	2,2	5	2,9	5	1,6	6,8	15	10	11,5	10	1,25	9,5	1,1	8,75
Внутреннее сопротивление, *ком*	58	1 500	12	11	12	62,5	650	25	40	47,5	23	57	20	45	15
Сопротивление нагрузки, *ком*	—	—	—	15	—	—	—	3,5	7	5,2	2,4	—	4	—	10
Сопротивление в цепи катода, *ом*	3 000	300	200	—	200	1 600	275	90	170	140	—	1 400	250	—	—
Выходная мощность, *вт*	—	—	—	—	—	—	—	8	3,9	5,3	5,6	—	4,2	—	2,4

[1] Данные для каждого триода.

[2] Данные триодной части.

[3] Данные пентодной части.

[4] Нить накала имеет вывод от средней точки.

3. Таблица возможной замены иностранных радиоламп отечественными

Тип лампы	Аналог отечественной лампы	Возможная замена
EABC80	6Г3П	6Г2[1]
EBF80	—	6Б8С, 6К4П + 6Х2П, 6К3 + 6Х6С
EC92	—	6С2П, 6Н2П[2], 6Н9С[2]
ECC40	—	6Н1П, 6Н8С
ECC81	—	6Н2П, 6Н9С
ECC83	6Н4П	6Н2П, 6Н9С
EF80	—	6Ж5П, 6Ж6С, 6К4
EL12	—	6П3С
EL41	—	6П1П, 6П6С
EL84	6П14П	6П1П, 6П6С, 30П1М[3], 6П9
EL86	—	6П18П
UABC80	—	6Г3П[3], 6Г2[2,3]
UL41	—	6П1П[3], 6П6С[3]
PCL81	—	6Н4П+6П1П, 6Н2П+6П1П, 6Н9С+6П6С

[1] В схемах усилителей низкой частоты может быть использован один триод.

[2] Для прямой замены используется один триод.

[3] Напряжения накала не совпадают.

4. Объяснение акустических терминов, упоминаемых в тексте

Характеристикой (диаграммой) направленности излучения называется зависимость звукового давления, развиваемого громкоговорителем (или группой громкоговорителей) на данной частоте, от угла поворота, определяемого между рабочей осью акустической системы (громкоговорителя) и первоначальным положением этой оси.

Характеристика направленности излучения акустической системы графически изображается в полярных координатах, причем звуковое давление для данного угла откладывается в долях условного, принимаемого за единицу звукового давления, вычисленного для первоначального положения. Неравномерность характеристики направленности излучения измеряется в децибелах.

Для акустической системы неравномерность характеристики направленности излучения измеряется через каждые 15° при повороте на ±90°, а громкоговорителя — при повороте на ±180°.

Акустическим экраном называется несимметричный деревянный щит, на котором помещают диффузорный громкоговоритель при испытании его без внешнего оформления. Толщина акустического экрана должна быть не менее 20 *мм*, а его размеры, определяемые ГОСТ, выбираются с таким расчетом, чтобы они были не менее одной шестой части наибольшей длины волны излучаемого звука.

Угол между образующей конуса отверстия и поверхностью акустического экрана должен быть равен 45°. Лицевая поверхность акустического экрана покрывается простеганным слоем ваты толщиной 15—20 *мм* и сверху обтягивается фланелью.

При испытаниях громкоговорителей акустический экран обычно располагают вертикально. В некоторых случаях допускается горизонтальное расположение.



СОДЕРЖАНИЕ